



# **Brillo de fondo de cielo con AstMon-UCM**

---

## **Trabajo Académicamente Dirigido por:**

Jaime Zamorano Calvo – Dpto. Astrofísica y CC. De la Atmósfera  
José Luis Contreras – Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear

## **Autor:**

Pablo Ramírez Moreta

**Curso 2010-2011**





# Contenido

<b>1.1. Introducción general: AstMon-UCM y algunos conceptos importantes.</b>	<b>5</b>
• AstMon-UCM.	5
• Fotometría CCD, brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica.	7
<b>1.2. Objetivos del proyecto.</b>	<b>8</b>
<b>2. ESPECIFICACIONES TÉCNICO-MECÁNICAS DEL ASTMON-UCM.</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Estructura externa.</b>	<b>11</b>
<b>2.2. Electrónica de control y mecánica internas.</b>	<b>14</b>
<b>3. PUESTA A PUNTO, FUNCIONAMIENTO Y GESTIÓN DEL ASTMON-UCM.</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Primeros pasos: montaje y puesta a punto.</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Ficheros, opciones y toma de datos.</b>	<b>20</b>
3.2.1. Localización de ficheros.	20
3.2.2. Configuración de opciones.	21
3.2.3. Máscara y secuencia de toma de datos.	27
<b>3.3. Responsabilidades sobre el AstMon-UCM.</b>	<b>29</b>
<b>3.4. Migración de ordenador portátil a ordenador de sobremesa.</b>	<b>31</b>
<b>4. RESULTADOS CIENTÍFICOS. BRILLO DE FONDO DE CIELO Y EXTINCIÓN ATMOSFÉRICA. OTROS PROYECTOS CON ASTMON-UCM.</b>	<b>36</b>
<b>4.1. Brillo de fondo de cielo.</b>	<b>36</b>
4.1.1. Variación del brillo de fondo de cielo con la altura.	39
4.1.2. Variación del brillo de fondo de cielo estacional. Valores medios típicos de fondo de brillo de cielo para el Observatorio UCM.	41
4.1.3. Variación del brillo de fondo de cielo con la Luna.	52
4.1.4. Influencia de nubes y aerosoles. Disminución de los valores de brillo de fondo de cielo.	55
<b>4.2. Extinción atmosférica. Estudio para el Observatorio UCM.</b>	<b>60</b>
4.2.1. Estudio de la extinción atmosférica a largo plazo.	60
4.2.2. Estudio a largo plazo de la extinción atmosférica según la fecha para una estrella: Vega – HD172167.	62
4.2.3. Constantes fotométricas del AstMon-UCM.	64
<b>4.3. Aplicación del AstMon en el proyecto CTA de GAE-UCM.</b>	<b>68</b>
<b>4.4. Estudio comparativo de brillo de fondo de cielo entre AstMon-UCM y SQM.</b>	<b>69</b>

<b>4.5. Aplicación del AstMon-UCM a la detección de bólidos: el ‘modo bólidos’.</b>	<b>75</b>
<b>4.6. Proyecto de divulgación. Archivado de datos para el futuro y su divulgación: sitio web y base de datos.</b>	<b>79</b>
<b>4.7. Una aplicación meteorológica: mapas de nubes.</b>	<b>81</b>
<b>5. CONCLUSIONES.</b>	<b>84</b>
<b>5.1. Brillo de fondo de cielo. Valores medios típicos para el Observatorio UCM.</b>	<b>84</b>
<b>5.2. Extinción atmosférica.</b>	<b>87</b>
<b>5.3. Aplicación del AstMon al proyecto CTA de GAE-UCM.</b>	<b>89</b>
<b>5.4. Valoración de la utilización del AstMon-UCM en otros proyectos.</b>	<b>90</b>
<b>APÉNDICES</b>	<b>92</b>
<b>Apéndice A</b>	<b>94</b>
<b>Organización y formatos de los ficheros y archivos del AstMon-UCM.</b>	<b>94</b>
<b>Apéndice B.</b>	<b>98</b>
<b>Scripts.</b>	<b>98</b>
<b>Apéndice C</b>	<b>100</b>
<b>Resolución rápida de errores, preguntas frecuentes.</b>	<b>100</b>
<b>Apéndice D</b>	<b>102</b>
<b>Proposición de proyectos de interés para el futuro.</b>	<b>102</b>
<b>AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS.</b>	<b>106</b>
<b>Agradecimientos.</b>	<b>108</b>
<b>Referencias.</b>	<b>108</b>
<b>DISCO DE DATOS.</b>	<b>112</b>

## 1. Introducción y objetivos del proyecto.

### 1.1. Introducción general: AstMon-UCM y algunos conceptos importantes.

- AstMon-UCM.

Desde el 14 de Julio de 2010 el observatorio astronómico de la Universidad Complutense de Madrid (Observatorio UCM) dispone de un monitor de la calidad astronómica del cielo nocturno llamado AstMon-UCM. Este equipo fue adquirido por el Dpto. de Astrofísica y CC. de la Atmósfera con fondos del proyecto ASTRID<sup>1</sup> y se instaló en la azotea del edificio de la Facultad de Ciencias Físicas, UCM junto a las cúpulas astronómicas.

El AstMon recibe su nombre del acrónimo de All Sky Transmission MONitor. Hay actualmente tres unidades instaladas y a la nuestra la conocemos por el nombre de AstMon-UCM. Debe quedar claro que hablar de AstMon-UCM o simplemente AstMon es hablar de lo mismo, pero por mayor precisión, se hablará de **AstMon-UCM** cuando se haga referencia directa y explícita a las condiciones o componentes del instrumento disponible en la facultad y con el que se ha trabajado, mientras que si se hace mención al **AstMon** sencillamente se estará hablando de forma genérica de este instrumento.

AstMon es un monitor de brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica cuyo principal objetivo de estudio es la calidad astronómica del cielo nocturno y entre otros estudios está diseñado para medir y estudiar la variación de la contaminación lumínica del lugar donde se sitúe.



Imagen 1.1. Ejemplar de AstMon.

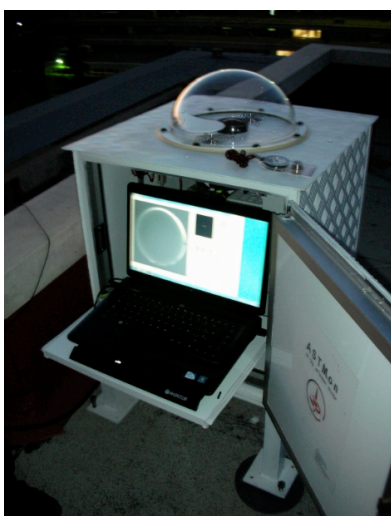
---

<sup>1</sup> P-ESP-000361-0505 "Desarrollo y explotación de instrumentación astronómica (ASTRID)". Programa financiado por la convocatoria de programas de actividades I+D entre grupos de investigación de la Comunidad Autónoma de Madrid. 2006-2009. Coordinador Jesús Gallego Maestro (UCM).

El instrumento está íntegramente diseñado por la empresa iTec Astronómica S.L., y se encuentra actualmente en fase de patente. Su constructor principal y director de la empresa fabricante es Jesús Aceituno Castro, Ldo. y Doctor en Física e Ingeniero Superior en Electrónica por la Universidad de Granada; actualmente trabajando como Astrónomo de Soporte en CAHA (Centro Hispano-Alemán de Almería).

Como se ha dicho, el AstMon-UCM no es el único instrumento de este estilo que existe. Hay varios aparatos hermanos situados en diferentes puntos de la Península Ibérica (por ahora) como el Observatorio de Calar Alto (CAHA, Almería) o el Parque Natural de Doñana entre otros.

Es en el punto más elevado de la azotea de la Facultad de Ciencias Físicas donde se sitúa el AstMon-UCM, junto a otros elementos del Observatorio UCM (coordenadas 40.450941 N; 3.726065 O) como son las dos cúpulas principales, el radiotelescopio o la estación de videodetección de bólidos. Tal localización no es aleatoria. El AstMon es un instrumento que toma imágenes de todo el cielo gracias a una óptica de ojo de pez, por lo que es necesario instalar este y cualquier otro aparato con óptica similar lo en un punto donde tuviera la mayor exposición posible, o dicho de otro modo, la menor cantidad de objetos en torno a él que pudieran tapar parte del campo de visión del instrumento.



Imágenes 1.2, 1.3 y 1.4. Situación del AstMon-UCM, azotea de la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM.

Como se ha mencionado brevemente, el AstMon-UCM tiene dos funciones principales. Por un lado, mide el brillo de fondo de cielo, que es un indicador de la contaminación lumínica del lugar y un parámetro fundamental sobre la calidad astronómica de un observatorio astronómico. Por otro lado, determina en tiempo real la extinción atmosférica en las bandas B, V y R del sistema fotométrico de Johnson.

La influencia de ambos factores es de capital importancia a la hora de tomar muchas decisiones a nivel científico y astronómico, pues las mediciones fotométricas en prácticamente cualquier banda o rango del espectro electromagnético y con cualquier telescopio o aparato de medición se ven siempre afectadas en mayor o menor magnitud por los efectos de la luz emitida o reflejada desde la superficie terrestre y las partículas y aerosoles de la atmósfera. El valor de la extinción atmosférica es necesario para la corrección del efecto de absorción de la atmósfera terrestre y la calibración absoluta de las observaciones.

Mediante imágenes sucesivas en las diferentes bandas fotométricas, su procesado automático y el análisis de las mismas en tiempo real, AstMon-UCM proporciona valores de la extinción atmosférica en esas bandas y mapas de brillo de fondo de cielo que abarca toda la bóveda celeste. Adicionalmente las imágenes de todo el cielo sobre el Observatorio UCM se publican en una página web con propósitos de divulgación.

- Fotometría CCD, brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica.

AstMon-UCM es un instrumento astronómico que determina los parámetros de calidad astronómica del cielo nocturno mediante fotometría astronómica de las estrellas registradas por su cámara. Se presenta a continuación un resumido fundamento científico de la técnica de la fotometría absoluta.

La fotometría astronómica pretende medir el flujo o magnitud de los objetos celestes a través de observaciones con cámaras dotadas de filtros. La respuesta de las cámaras digitales (generalmente CCDs) y la transmisión de los filtros definen las bandas fotométricas. En el caso del AstMon-UCM, se dispone de un sensor CCD.

Para calibrar las observaciones se realizan medidas de estrellas estándar cuya magnitud es conocida. Mediante observaciones sucesivas de estrellas en diferentes alturas sobre el horizonte se puede determinar la extinción atmosférica y la constante instrumental en esa banda.

Brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica son los principales productos retornados por el AstMon-UCM.

Las fórmulas necesarias para cálculos de extinción son las siguientes:

$$\left. \begin{aligned} m_{\lambda} &= m_{\lambda_0} + K_{\lambda} \cdot \sec(z) \\ m_{\lambda} &= C - 2.5 \log F(c/s) \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$m_{\lambda_0} + K_{\lambda} \cdot \sec(z) = C - 2.5 \log F(c/s) \rightarrow$$

$$m_{\lambda_0} + 2.5 \log F(c/s) = C - K_{\lambda} \cdot \sec(z)$$

Cada medida individual de una estrella lleva incorporado un término debido al brillo de fondo de cielo de la atmósfera terrestre. Por lo tanto hay que restar esta contribución. Para observatorios urbanos como el Observatorio UCM, la contaminación lumínica incrementa el brillo de fondo de cielo y los resultados de la fotometría son de peor calidad aunque este efecto es poco importante cuando se analizan los flujos de estrellas brillantes para medir la extinción.

El aumento de brillo de fondo de cielo procede del reflejo y difusión de la luz artificial que escapa hacia el cielo por las partículas (aerosoles) de la atmósfera terrestre. Existe una relación directa entre contaminación lumínica y brillo de fondo de cielo pero éste último depende de otros factores como son la concentración de aerosoles, el albedo del suelo, la cantidad de follaje de los árboles, el diseño de las calles, etc.

Brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica son los principales productos retornados por el AstMon-UCM.

La física necesaria para el cálculo del brillo de fondo de cielo se resume en la siguiente fórmula:

$$SB = ZP - 2.5\log_{10}(F_{sky}/A)$$

## 1.2. Objetivos del proyecto.

El AstMon-UCM es un dispositivo que cuenta con un sencillo fundamento de trabajo: proporcionar imágenes y datos de brillo de fondo cielo y extinción atmosférica de manera rápida, automática, precisa y adaptable a las necesidades. Por tanto, durante casi el año y medio de trabajo que ha permitido elaborar este informe, se han ido proponiendo con bastante facilidad numerosas metas de menor o mayor complejidad, lo que no ha hecho sino confirmar la gran utilidad del AstMon-UCM.

Dado que es un instrumento ‘recién llegado’ y del tiempo limitado del que se ha dispuesto, la gran cantidad de propuestas se ha concretado en los que han sido considerados como los dos objetivos científicos más directos, básicos e importantes para el día a día del Observatorio UCM y su futuro inmediato. Ambos constituyen el núcleo y motivo central de este trabajo, y son sin duda los objetivos claves de la primera toma de contacto con un instrumento que, como se ha dicho, puede ser la semilla de muy diferentes proyectos<sup>2</sup>.

Estos objetivos principales son:

- Caracterización del parámetro observacional de brillo de fondo de cielo medio típico del Observatorio UCM en los filtros de Johnson-Cousins de las bandas B, V y R.
- Estimación de los parámetros observacionales de extinción atmosférica media y constantes instrumentales del instrumento para los diferentes filtros.

No obstante, es importante remarcar que un objetivo siempre se ve altamente influenciado por los medios para llegar a él, así como por la optimización de tiempos de

---

<sup>2</sup> Una lista de estas proposiciones y su justificación se presenta posteriormente en el Apéndice D.

obtención de resultados útiles y la resolución de circunstancias adversas que puedan surgir en el proceso. En el caso de este trabajo, los objetivos científicos principales han necesitado pasar antes por un extenso y profundo proceso de familiarización y manejo con soltura del AstMon-UCM. Puede resultar chocante tal afirmación, pero si bien es, a priori, un instrumento autónomo y sobre el que se necesita escasa acción humana directa, su conocimiento técnico en profundidad y el aprendizaje del funcionamiento interno del mismo han sido tan importantes como inevitables para alcanzar las metas asumidas.

Por ello, han sido postulados bajo estas líneas un conjunto de objetivos paralelos o secundarios, pero de gran importancia, y que han servido para conocer el AstMon-UCM y para desarrollar el cuerpo de este informe de una forma que prácticamente podría considerarse cronológica.

Una breve lista de estos objetivos paralelos, o lo que es lo mismo, una guía resumida de este trabajo, es la siguiente:

- ◇ conocimiento estructural, mecánico, informático y físico del AstMon-UCM,
- ◇ gestión, resolución de problemas y mejoras del AstMon-UCM,
- ◇ optimización del funcionamiento en función de los objetivos del AstMon-UCM,
- ◇ aplicaciones paralelas, agilización y facilitación de uso del AstMon-UCM en otros proyectos.

El conocimiento en profundidad de cómo funciona este instrumento garantiza una mayor capacidad de resolución de problemas así como una optimización de los parámetros del mismo. De esta forma, el desarrollo de este trabajo pretende ser no sólo una descripción explícita del trabajo realizado durante estos meses, sino también una referencia rápida para futuros trabajos y estudiantes.





## 2. Especificaciones técnico-mecánicas del AstMon-UCM.

El AstMon es un instrumento astronómico que mide parámetros de la calidad del cielo nocturno mediante una cámara CCD dotada de un ojo de pez de manera que su campo de visión abarca todo el cielo. Las observaciones se realizan en varias bandas fotométricas del sistema de Johnson-Cousins. Aparte del sistema óptico, el AstMon dispone de electrónica de control, de una estructura externa que lo protege de la intemperie y de un ordenador que controla el proceso de toma de imágenes.

El AstMon-UCM funciona de manera completamente autónoma. Los programas de realización y análisis de las observaciones son gestionados por el ordenador, al cual está conectado todo el sistema: tanto componentes mecánicos, como electrónicos y ópticos.

### 2.1. Estructura externa.

Tanto la electrónica de control como la óptica del AstMon y demás componentes necesarios para su funcionamiento están contenidos y protegidos dentro de un habitáculo sostenido por una resistente y pesada bancada metálica. El conjunto en total tiene un peso aproximado de 35 kg.

El *cuerpo principal* consiste en una caja prácticamente cúbica de dimensiones aproximadas:  $50 \times 60 \times 60 \text{ cm}^3$ , cuyas paredes las forman varias capas de materiales metálicos y aislantes intercalados de unos 4 cm de grosor medio y reforzados con una pintura externa anti-filtraciones.



Imagen 2.1 AstMon-UCM.

En su *cara superior* (o cenital), existe una abertura que comunica el interior de la caja con el exterior, pero para mantener su aislamiento de agentes externos declaradamente nocivos como el agua o el polvo entre otros, hay una cúpula

semiesférica acrílica de protección de calidad óptica fijada a esta cara. Justo en esta abertura se puede observar el objetivo de la cámara con la que se toman las imágenes a procesar<sup>3</sup>.



Imagen 2.2. Cara superior del AstMon-UCM.

Una de las cuatro caras laterales del cuerpo (será tratada como la *cara frontal* por comodidad del lenguaje) dispone de una puerta hermética con cerradura que da acceso al interior del cuerpo principal. Para evitar la entrada de agua al cuerpo principal, se han canalizado las hendiduras de la puerta para que, estando cerrada, derive el agua (de lluvia o limpieza) hacia la parte inferior, donde tiene unas minúsculas rendijas de salida.

Las dos caras inmediatamente anexas a la frontal (serán tratadas como *caras laterales*) tienen sendos asideros que permiten el transporte del cuerpo principal.

La cara contraria a la frontal (será tratada como *cara trasera*) tiene una salida de ventilación en forma de codo orientado hacia el suelo (para evitar filtraciones) y una pequeña lámina a modo de tejadillo sobre tres salidas para el cableado. Una es un enchufe para la corriente eléctrica que alimentará los componentes electrónicos del AstMon a 220V, y las otras dos son salidas de información, una para un puerto USB y para un cable de red<sup>4</sup>.



Imagen 2.3. Cara posterior del AstMon-UCM.

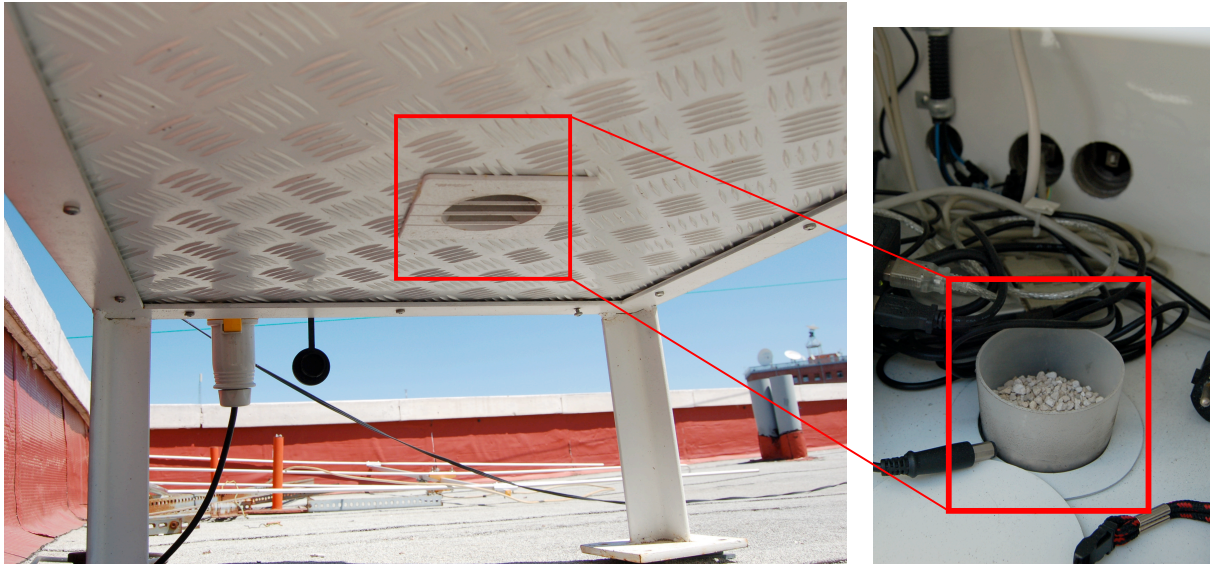
Volviendo a la descripción general, se ha hecho notar que el AstMon-UCM es un aparato pseudo-aislado. La razón de este adjetivo es que de las aberturas hasta ahora

<sup>3</sup> Más información sobre la cámara utilizada por el AstMon-UCM se encuentra en la sección 2.2.

<sup>4</sup> Más información sobre los componentes del AstMon-UCM se encuentran en la sección 2.2.

mencionadas puede decirse que dejan completamente aislado el interior del cuerpo principal, pero es la *cara inferior* la que no está completamente cerrada y constituye el único punto en contacto directo con el exterior.

En el centro de la cara inferior hay una abertura circular que tiene ajustado un cilindro perforado, el cual contiene arena desecante (ceolita, aunque puede ser sustituida por otro tipo de arena desecante de propiedades similares).



Imágenes 2.4 y 2.5. Izquierda: cara inferior del AstMon-UCM. Derecha: ceolita situada en la parte interna de la cara inferior del AstMon-UCM.

En el diseño actual del AstMon, es imprescindible que tenga esta abertura y el material mencionado por dos razones que están relacionadas entre sí:

- i. refrigeración y/o ventilación de componentes electrónicos: el interior del cuerpo principal del AstMon está aislado del exterior en cinco de su seis caras, así que esta abertura proporciona la entrada de aire necesaria para que los componentes electrónicos no tomen y/o generen temperaturas interiores suficientemente altas como para poder provocar el malfuncionamiento o incluso la destrucción de alguno de ellos;
- ii. control de humedad interna: del mismo modo, y gracias al sistema de refrigeración que se explica en la siguiente sección, esta entrada de aire permite mantener el interior del cuerpo principal a temperaturas suficientemente frescas o templadas (según la estación, y las condiciones climatológicas del día o la noche) como para que no se condense la humedad tanto en el interior de la cúpula externa como en las paredes internas del cuerpo y no perjudique ni la buena visibilidad de la cámara ni los aparatos electrónicos. La arena desecante que rellena el cilindro de entrada tiene por tanto el papel de absorber la humedad para así introducir la ventilación necesaria al interior pero con la menor cantidad posible de humedad propia del aire externo.

La caja principal está soportada por una *base* o *bancada* de acero galvanizado de 4 patas, elevada unos 20 cm del suelo y que permite ser anclada y nivelada al mismo por pernos de métrica 10. Es muy recomendable atornillarla (aunque esto también será en función del suelo donde se coloque y si se pretende que sea una estación fija o temporal) pues el AstMon necesita ser configurado según su posición (en latitud y longitud) y orientación respecto a los puntos cardinales, tras lo cual debe permanecer inmóvil para que sus medidas sean correctas. Una alteración de su posición no implicaría que dejase de funcionar, pero sí que los cálculos hechos serían erróneos en posición y tiempo<sup>5</sup>, y necesitaría ser reconfigurado.

## 2.2. Electrónica de control y mecánica internas.

### a) Sistema CCD (sensor, filtros y óptica):

El principal componente del AstMon es un dispositivo CCD (charge-coupled device), un sistema de filtros modificable, un sistema de enfocado manual y un objetivo ojo de pez.

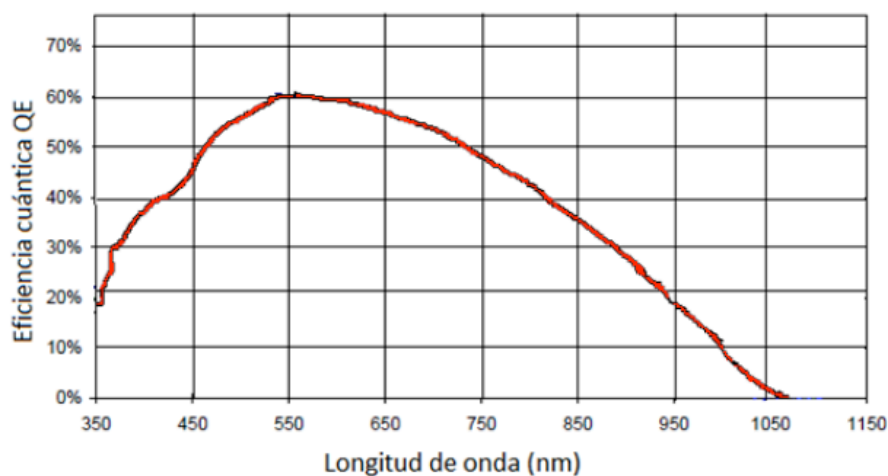
La siguiente tabla resume las características y propiedades del sistema:

<i>Descripción básica del sensor CCD</i>	
<b>CCD</b>	<i>Kodak KAF-8300</i>
<b>Matriz de Píxeles</b>	3348x2574 pix
<b>Tamaño CCD</b>	17.96 x 13.52 mm
<b>Tamaño del pixel</b>	5.4 x 5.4 micras
<b>Tamaño del pozo</b>	~25,500 e-
<b>Corriente de oscuridad</b>	1e <sup>-</sup> /pix/s (a 0° C)
<b>Antiblooming</b>	Si (x1000)l
<i>Especificaciones de lectura</i>	
<b>Obturador</b>	Electromecánico
<b>Exposición</b>	de 0.04 a 3600 s, 10 ms resolución
<b>Muestreo doble correlativo</b>	Sí
<b>A/D Converter</b>	16 bits
<b>Ruido de lectura</b>	8e- RMS
<b>Modos de binning</b>	1 x 1 ; 2 x 2 ; 3 x 3
<b>Tiempo de lectura</b>	< 20 segundos
<i>Especificaciones del sistema</i>	
<b>Refrigeración</b>	Peltier simple + ventilador, -40 °C respecto a temperatura ambiente
<b>Filtros</b>	B, V y R de Johnson-Cousins (definibles)
<b>Regulación de temperatura</b>	±0.1°C
<b>Alimentación</b>	12 VDC (fuente de potencia incluida)
<b>Computer Interface</b>	USB 2.0

Tabla 2.1. Datos de la CCD para la versión del AstMon-UCM a fecha de Julio de 2011.

<sup>5</sup> Se desarrolla la puesta a punto del instrumento en la sección 3.1.

La eficiencia cuántica de la cámara está representada en el siguiente gráfico:



Gráfica 2.1. Eficiencia cuántica (QE) de la cámara utilizada en el AstMon-UCM.  
Fuente: Manual del AstMon. iTec Astronómica S.L.

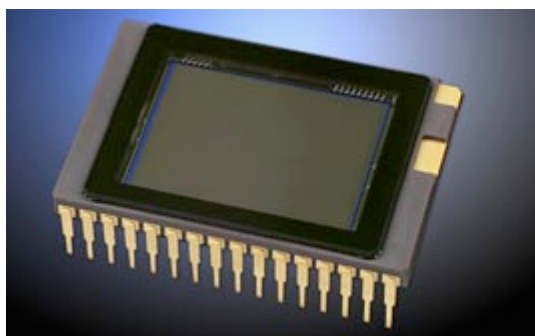


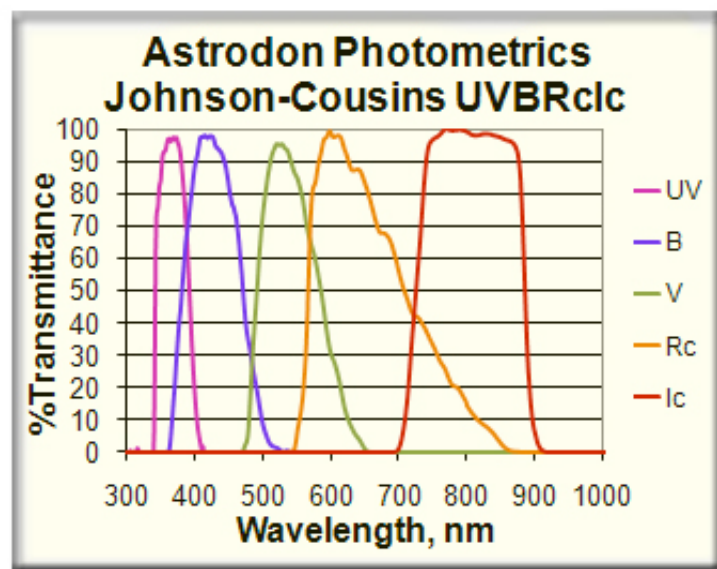
Imagen 2.6. Chip incorporado en la cámara Kodak KAF8300 del AstMon-UCM.

La rueda de filtros posee 5 posiciones en que se pueden colocar sendos filtros sin restricción alguna. En el AstMon-UCM se tienen instalados 3 filtros del sistema de Johnson-Cousins, obtenidos de la compañía Astrodon<sup>6</sup> y, en concreto, seleccionados para las bandas B, V y Rc (tratado aquí simplemente como R). El set original consta de 5 filtros: U, V, B, Rc, e Ic, pero dadas las condiciones actuales de, principalmente, la cúpula de protección externa y la óptica de la CCD, en el montaje actual del AstMon-UCM se ha prescindido de los filtros U e I por su escasa funcionalidad.

Las curvas de transmisión del set de 5 filtros de los cuales se están usando los tres mencionados, tienen las siguientes curvas de transmitancia:

<sup>6</sup> En concreto el modelo de los filtros es: Astrodon Photometrics – UVBRcIc.  
Sitio web: <http://www.astrodon.com/>





Gráfica 2.2. Curvas de transmisión de los filtros Johnson-Cousins utilizados en el AstMon-UCM.

Fuente: Astrodon.

Finalmente, la CCD tiene acoplada una óptica ojo de pez, que permite al dispositivo obtener datos partiendo de imágenes circulares que engloban todo el cielo visible desde la posición donde se sitúe. Es decir, cubre una superficie que engloba los  $90^\circ$  que corresponden al rango de ángulo cenital “z” desde el cenit al horizonte:  $z = (0^\circ, 90^\circ)$ , y los  $360^\circ$  de visión circular horizontal.

El modelo y especificaciones técnicas del objetivo son los siguientes: Circular Fisheye Sigma de 4.5 mm, F2.8 EX DC HSM. Es un objetivo específico para cámaras digitales y fines científicos, ya que dispone de tecnología de material SLD (special low dispersion) que permite una compensación de la aberración de color y de un sistema de ángulo de proyección equisólido que favorece tales fines.

#### b) Electrónica de control:

En la electrónica de control se agrupa el conjunto de elementos electrónicos responsables de alimentar eléctricamente al sistema, de mantener una temperatura idónea en el interior, de gestionar el obturador de protección de la óptica y de proteger el dispositivo de posibles descargas eléctricas elevadas.

A continuación se describen brevemente estos componentes:

- i. diferencial y magneto térmico para protección de choque eléctrico,
- ii. ventilador de 120x120 mm capaz de desalojar  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ . Se controla por un termostato fijado a  $20^\circ\text{C}$ . Solo funciona por encima de dicha temperatura para que no introduzca aire húmedo dentro del habitáculo provocando condensación en la cúpula,

- iii. ventilador de 20x20 mm con resistencia de calor que introduce aire caliente en el interior de la cúpula para evitar condensación,
- iv. motor eléctrico con caja reductora que posiciona un obturador mecánico ante el ojo de pez para evitar la exposición directa durante el día a la luz solar. En el momento de la redacción de este informe, el obturador solar y el servo que lo mueve están fuera del instrumento debido a una sulfatación del último causada por la entrada de agua unas semanas después de haberse instalado. De acuerdo con lo dicho por el director de iTec Astronómica S.L., para futuras versiones de AstMon se considera eliminar este componente, pues la óptica parece ser resistente a la acción del Sol sobre ella,
- v. fuente de alimentación de 12 V provee de corriente a todo el instrumento,
- vi. caja electrónica con 8 relés de salida y 4 entradas digitales, necesaria para controlar por medio del PC asignado tanto la puesta en funcionamiento de la CCD como ventiladores y reconocimiento del estado de los termostatos,
- vii. reloj programable,
- viii. sistema de protección ante rayos, que corta la corriente en caso que se supere una carga superior a 20000 V.

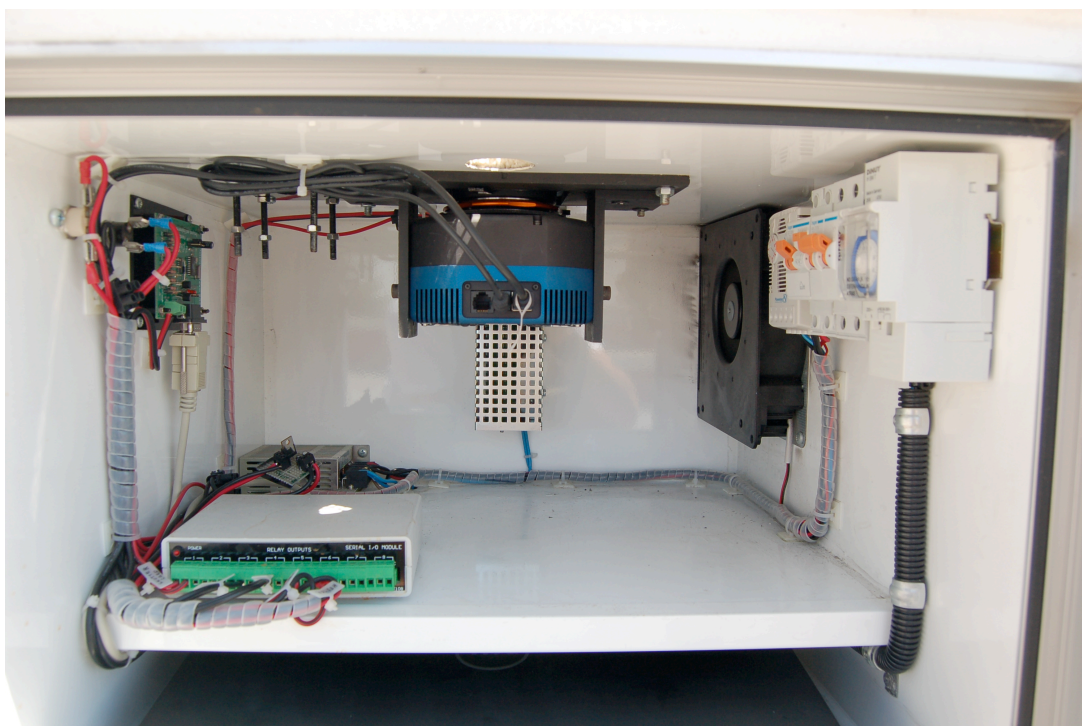


Imagen 2.7. Parte superior del interior del AstMon-UCM.

Respecto a la temperatura y humedad del interior, cabe destacar que existen varios termostatos distribuidos por el interior del aparato, a la vez que hay otros dos más regulables manualmente (marcando las temperaturas inferior y superior para la entrada en funcionamiento de los ventiladores) y cuyos límites dependerán de las condiciones climáticas del lugar. En el caso de AstMon-UCM, están fijados en 18 y 23 °C. Otros dos

termostatos están fijados en 30 y 50°C y marcan los límites sobre los cuales se recomienda tener precaución y apagar el sistema respectivamente para evitar daños.

c) Divisiones internas, circulación del aire y ordenador portátil:

Por otro lado, cabe decir que el interior del AstMon-UCM queda dividido en tres secciones por dos baldas horizontales intermedias donde se sitúan el PC portátil que gestiona el software del instrumento y ciertos componentes electrónicos mencionados.

La entrada de aire está situada, como se dijo en la sección anterior, en la cara inferior del cuerpo principal, así que debido a tales baldas intermedias, la corriente de ventilación sigue una trayectoria zigzagueante por el interior. Es decir, tal configuración permite ventilar todos los componentes desde la base interna hasta la cara superior, la cual da acceso a la cúpula, y que a su vez tiene dos orificios. En uno de ellos está colocada una resistencia que hará de calefactor cuando se active de acuerdo a la regulación de los termostatos, previniendo la formación de condensación en la cara interior de la cúpula. El otro es un orificio hecho para permitir la circulación del aire, de modo que uno ejerza de entrada y el otro de salida y se forme corriente.

Por último, el mencionado ordenador portátil situado en una balda intermedia. Es el encargado de gestionar el software de control del instrumento, y la idea principal de situar un PC portátil en el interior es la de autonomía absoluta, aunque por conexión mediante un cable de red a una toma de teléfono, puede ser perfectamente controlado de forma remota.

Sin embargo, debido a numerosas incidencias achacadas al mal funcionamiento de este ordenador portátil, se procedió a la migración a otro ordenador de sobremesa, situado en la sala Entre-Cúpulas del Departamento<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Migración del portátil al ordenador de sobremesa comentada en la sección 3.4.



### 3. Puesta a punto, funcionamiento y gestión del AstMon-UCM.

#### 3.1. Primeros pasos: montaje y puesta a punto.

Una vez elegido el punto desde el cual el AstMon-UCM va a operar, necesita ser configurado una única vez desde cero. Para que el software de control sea capaz de reconocer las estrellas del campo observado y por tanto medir satisfactoriamente, todo el conjunto debe estar correctamente orientado hacia el Norte y bien nivelado respecto al suelo.

Hay dos procedimientos para orientar y nivelar el AstMon-UCM: por alineamiento aproximado y por identificación del eje óptico del sistema.

- Puesta a punto por alineamiento aproximado:

Se realiza colocando una brújula en una de las esquinas y rotando todo el conjunto hasta que el cuerpo principal esté perfectamente alineado hacia el Norte. Se repite este proceso en el resto de las esquinas para promediar cualquier posible efecto magnético indeseado. Para la nivelación, se debe usar tanto el nivel de ojo de buey<sup>8</sup> como los tornillos de nivelación de la bancada del instrumento, con el objetivo de conseguir dejarlo en una posición totalmente horizontal, es decir, dejar nivelado el AstMon tal que el vector normal al plano de la cara superior se encuentre directamente orientado al cénit. Será necesario conseguir la mayor precisión en la nivelación para que la posterior identificación de estrellas sea lo más certera posible.

- Puesta a punto por identificación automática del eje óptico:

Este segundo procedimiento es algo más técnico pero también más preciso. Lo primero que se necesita es identificar el eje óptico del sistema. Para ello se puede utilizar la rutina del programa de control llamada Define Optical Axis, donde el usuario puede introducir los límites izquierda-derecha (X1 - X2) y abajo-arriba (Y1 - Y2). Esto necesita ser introducido sólo una vez, excepto si se mueve el AstMon de lugar, de modo que el programa calcula automáticamente cual es el eje óptico del sistema.

Otro factor de vital importancia es la hora. La fuente que proporciona la hora es el ordenador que controla todo el software. Por tanto es un parámetro que debe ser bien ajustado en el propio ordenador y establecido en formato de tiempo universal (UT). En España se sigue el horario de verano GMT+2 (UT+2) durante aproximadamente 7 meses: desde finales del mes de marzo hasta finales del mes de octubre, para el resto del año tener GMT+1 (UT+1).

Por cuestiones científicas de practicidad y universalidad, es conveniente dejar la hora del AstMon-UCM en formato de UT, lo cual además será más cómodo pues no habrá que preocuparse de los diferentes cambios de hora comentados.

Se ha mencionado en el primer procedimiento que la nivelación del aparato debe ser tenida muy en cuenta, y es que el programa de control consta de una rutina llamada *Display Bright Stars* que permite visualizar las estrellas más brillantes hasta una

---

<sup>8</sup> Tanto la brújula como el ojo de buey se guardan en la balda inferior del cuerpo principal del AstMon-UCM.

magnitud dada más la estrella polar. Para tener un ajuste aún más fino de la posición del AstMon, debe conseguirse que concuerden las estrellas observadas con las posiciones marcadas por la rutina del programa en la ventana de observación.

Una vez establecidos estos parámetros, deben programarse las horas de observación. El programa establece un vínculo entre la fuente de horas de funcionamiento albergada en el fichero: Data\ObservingTimes.dat y el fichero sobre el que lee directamente y que se actualiza cada día con el periodo de funcionamiento correspondiente a esa jornada: Data\StartEndTime.dat.

Existe un reloj interno que puede ser activado para definir las horas en que se permite la entrada de corriente al sistema o por el contrario que permanezca sin alimentación para su descanso.

En la configuración actual, no se está usando este reloj de des/activación puesto que si bien sería recomendable hacerlo para que el ordenador portátil que incluye el AstMon tuviera periodos de descanso y enfriamiento, como se verá en la sección 3.4, se ha sustituido el ordenador portátil del AstMon-UCM por otro ordenador de sobremesa, especialmente constituido para dar servicio a este aparato.

## 3.2. Ficheros, opciones y toma de datos.

### 3.2.1. Localización de ficheros.

Antes de comentar la configuración de opciones del programa de control del AstMon-UCM, se debe ofrecer un breve pero claro esquema de organización actual de localización de los ficheros que o bien AstMon utiliza o bien crea tras las exposiciones.

Aunque existen algunas más (de las que se hablará en posteriores secciones), hay 2 carpetas de principal importancia, localizadas con un acceso directo en el Escritorio del ordenador que controla el AstMon.

Son las llamadas:

*AstMon Parametros*

y

*AstMon Imagenes y Datos*

La carpeta “AstMon Parametros” (por comodidad será tratada como la carpeta “Parámetros”) contiene principalmente los ficheros de la configuración del AstMon establecida como se ha comentado en el punto anterior. Los más relevantes son los contenidos en la subcarpeta “LOGS” (informes de toda la actividad y posibles errores del programa de control) y en la subcarpeta “Data”.

Es en esta segunda carpeta donde estará la parte relativa a la configuración directa de parámetros de las observaciones y será tratada aquí como la carpeta “Parámetros-Data”.

Por otra parte, la carpeta “AstMon Imagenes y Datos” (por comodidad será tratada aquí como la carpeta “Imágenes”) contiene los ficheros producto de las exposiciones y tratamiento de imágenes del AstMon. Estos ficheros están estructurados en subcarpetas

de nombre tipo año-mes-día (por ejemplo 20110329 correspondería a la carpeta de ficheros del día 29 de Marzo de 2011) y se agrupan del siguiente modo:

Carpeta Raíz	Subcarpetas (1 <sup>er</sup> nivel) (fechas)	Subcarpetas (2 <sup>o</sup> nivel) (según datos)	Ficheros (tipo y extensión)
<i>Astmon Imágenes y Datos</i>	20110329 (ejemplo)		
		RawFiles →	imágenes: .png
		Extinction →	archivos de texto: .dat
		SkyBrightness →	imágenes: .fits y .png

Gráfico 3.1. Estructura de archivado de datos del programa de control de AstMon-UCM.

Todas estas carpetas guardarán los ficheros de datos e imagen a los que nos vamos a referir a continuación. Se comenta en mayor profundidad el almacenaje y formatos en el Apéndice A.

### 3.2.2. Configuración de opciones.

#### a) Ventana principal.

Para una explicación correcta de cómo utilizar y configurar el programa de control del AstMon, es imprescindible mostrar primeramente la pantalla principal del propio programa. Lo muestra la figura siguiente:

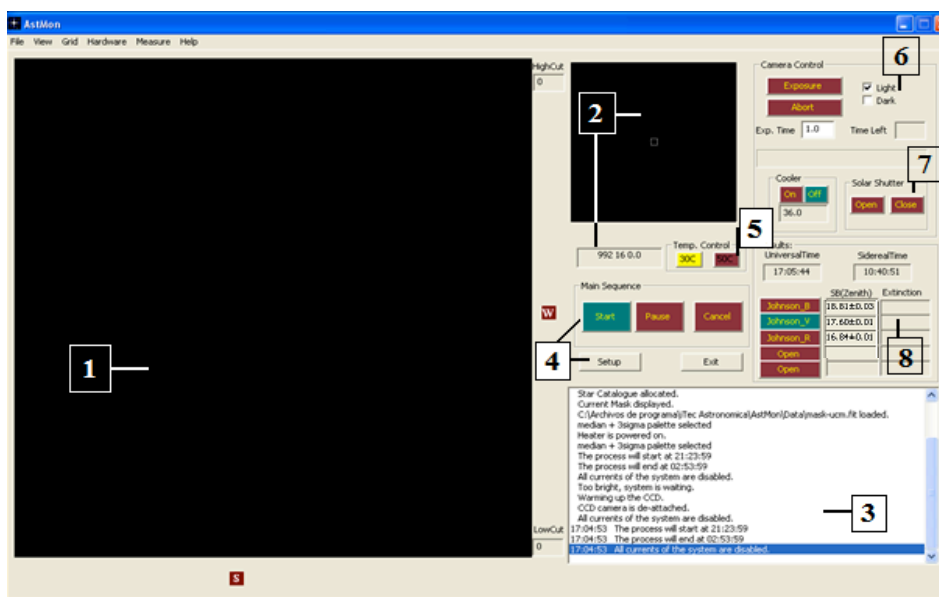


Figura 3.1. Pantalla principal del programa de control del AstMon-UCM.

Una descripción detallada de la pantalla principal del programa de control es la siguiente:

**1** Es la región imagen de 2500x2500 pix, es decir, la región de observación directa de la CCD. Mostrará la imagen correspondiente a cada exposición realizada e irá variando con los segundos/minutos que se tarde en tomar una nueva imagen en el siguiente filtro.

**2** Es una ampliación de una región de tamaño 25x25 pix hecha de forma automática en torno a la posición del cursor del ratón en cualquier punto de la región **1**. Bajo ella hay una pequeña caja con 3 números que van cambiando según la posición del cursor: posición X, posición Y y cuentas por segundo. Por ejemplo: 344 1202 735 sería una posible combinación en que tendríamos nuestro cursores en la posición (344,1202) y en tal punto habría una cantidad de cuentas por segundo de 735. El origen de coordenadas lo toma por defecto en la esquina inferior izquierda de la región **1**.

**3** Es la ventana de ‘conversación’ entre el AstMon y el usuario. Es decir, en ella se muestran todas y cada una de las acciones llevadas a cabo por el AstMon en cada hora concreta, ya sean mostrar tiempos de inicio y finalización de actividades, cargar una máscara (ver siguientes líneas), tomar imágenes *dark*, *bias* y *flat field*, aplicar un filtro y otro, etc. Además, también mostrará posibles mensajes de detección de temperaturas y activación de ventiladores. Los ficheros de informe (mencionados en párrafos anteriores) que se almacenan en la carpeta LOGS se componen exactamente de todo el texto que aparece en esta caja.

**4** Los botones de *Start*, *Pause* y *Cancel* son los responsables de comenzar, pausar o cancelar de manera manual la ‘secuencia principal’, que viene a ser la toma de imágenes normal del dispositivo. En condiciones normales, no deben ser tocados pues el programa inicia la secuencia principal de toma de imágenes de forma automática, pero si hubiera algún problema, o se quisiera interrumpir voluntariamente la ejecución de la secuencia, sería necesario utilizarlos para detenerla o pausarla y reactivarla de nuevo. Debajo de esos 3 botones, hay otros 2: *Setup* y *Exit*. El segundo es la única manera de cerrar manualmente el programa al completo, y el primero nos permite ver una ventana de configuración manual de ciertos parámetros (que se explicarán a continuación) pero únicamente si la secuencia principal de toma de imágenes está cancelada. Es decir, si intentamos abrir el *Setup* con el programa en pleno funcionamiento, nos dará un mensaje de error pues, coherentemente, alterar parámetros de toma de datos del *Setup* mientras se toman tales datos, sería conflictivo. Por ello, el programa nos obliga a cancelar la secuencia principal primero pulsando *Cancel* para poder alterar parámetros y, tras establecerlos, reiniciar la secuencia principal bajo las nuevas condiciones pulsando de nuevo *Start*.

***Nota: respecto a la última versión del software (Julio 2011).***

En la nueva versión del software, actualizada apenas unos días antes de la realización de este informe, se ha producido un cambio menor en esta pantalla de control: justo sobre los botones de control de la secuencia principal, se ha añadido una opción llamada *SB* (brillo de fondo de cielo). Tras la primera exposición de la noche, puede activarse haciendo que en la caja de la región **2** donde aparece las posiciones X, Y, y el número de cuentas, pase a mostrar directamente la medida de SB o brillo de cielo en magnitudes y su error en la zona de la posición del cursor.

**5** Muestra los 2 botones indicadores de temperatura de 30 °C y 50 °C (meramente informativos, no interactivos). En principio y en condiciones normales, deben pasar

desapercibidos, pero si las temperaturas son elevadas, comenzarán a parpadear y a volcar mensajes en la ventana de conversación o log sugiriendo el apagado del sistema. Conviene dejar claro que en ocasiones estos indicadores han funcionado incorrectamente y han dado mensajes de temperaturas elevadas en medio de declaradamente frías noches en que todo iba bien; pero también es cierto que pueden indicar de manera indirecta otros errores, como por ejemplo, un malfuncionamiento de los ventiladores, que no estén refrigerando correctamente y provoquen un aumento de temperatura, así que hay que prestarles su debida atención.

**6** Es la región de control de la cámara y contiene varias cajas. Cabe resaltar de ella la correspondiente al tiempo de exposición *Exp.Time*, que nos dirá cuánto tiempo (en segundos) tiene prefijada cada exposición de la cámara en su filtro correspondiente, y al lado, una pequeña barra de tiempo en contrarreloj, *Time Left*, que indica gráficamente cuánto tiempo falta para que acabe la exposición o el tiempo de retardo o retraso entre secuencias (ver en siguientes páginas la explicación de la ventana de *Setup*).

**7** Esta región es la correspondiente al obturador solar, y en ella se indica si está abierto o cerrado, es decir, en modo de funcionamiento y toma de imágenes, o en modo apagado y de protección de la óptica y la CCD. En estos momentos, el AstMon-UCM tiene el obturador fuera de la maquinaria debido a un deterioro por sulfatación del servo que controlaba su movimiento de apertura o cierre. Por tanto, en la ventana de configuración no aparecerá activada (en verde) ninguna de las dos opciones.

A la izquierda de la zona dedicada al obturador solar hay una caja indicativa de la temperatura interna de la cámara. La secuencia de datos se iniciará cuando la temperatura de la misma esté suficientemente refrigerada (varias decenas de °C por debajo de la temperatura ambiente hasta unos -10 °C aproximadamente) para reducir al máximo la corriente de oscuridad y el ruido por contribución térmica.

**8** Es la región de resultados. Muestra tanto el tiempo universal como el sidéreo, y bajo ellos, una pequeña tabla de valores de brillo de fondo de cielo en el cénit (SB(Zenith)) y de extinción. Esta tabla es más orientativa que otra cosa, pues tendremos de cada exposición un fichero completo para ambas variables según estrella detectada y punto del cielo medido.

#### b) Definición de posiciones especiales para medición de brillo de cielo.

Existe una función en el menú principal del AstMon que conviene mencionar: es la definición de posiciones especiales contenida en la pestaña *Measure* → *Define special position*. Es conveniente tener definidas varias de esas posiciones especiales pues son las que AstMon utilizará para almacenar datos de brillo de fondo de cielo puntuales.

#### c) Ventana de *Setup*.

Esta ventana es la que nos da control sobre las casi todas las opciones configurables del AstMon-UCM.

Se dice ‘casi todas’ debido a que, como se ha comentado en la sección 2, los horarios de funcionamiento de cada día del año están indexados en un fichero de la carpeta Parámetros-Data. En concreto en el archivo *ObservingTimes.dat*, desde el cual

se crea automáticamente un archivo diario llamado *StartEndTime.dat* con las horas de encendido y apagado de la noche correspondiente a la jornada en que estemos. Y este es el archivo finalmente leído por el programa de control para comenzar a ejecutar la secuencia principal de toma de datos.

En la siguiente figura tenemos un ejemplo de la pantalla de *Setup* configurada como lo está a fecha de Julio de 2011. Debe decirse que hasta hace apenas unos días antes de la presentación de este trabajo, la pantalla de *Setup* era ligeramente diferente, pero contenía exactamente las mismas opciones, por tanto, si ocurriera que se debe usar en un momento dado una versión del software anterior a la actual ( fechada a 21 de junio de 2011), las opciones aparecerán en otro orden pero serán conceptualmente idénticas a las aquí comentadas.

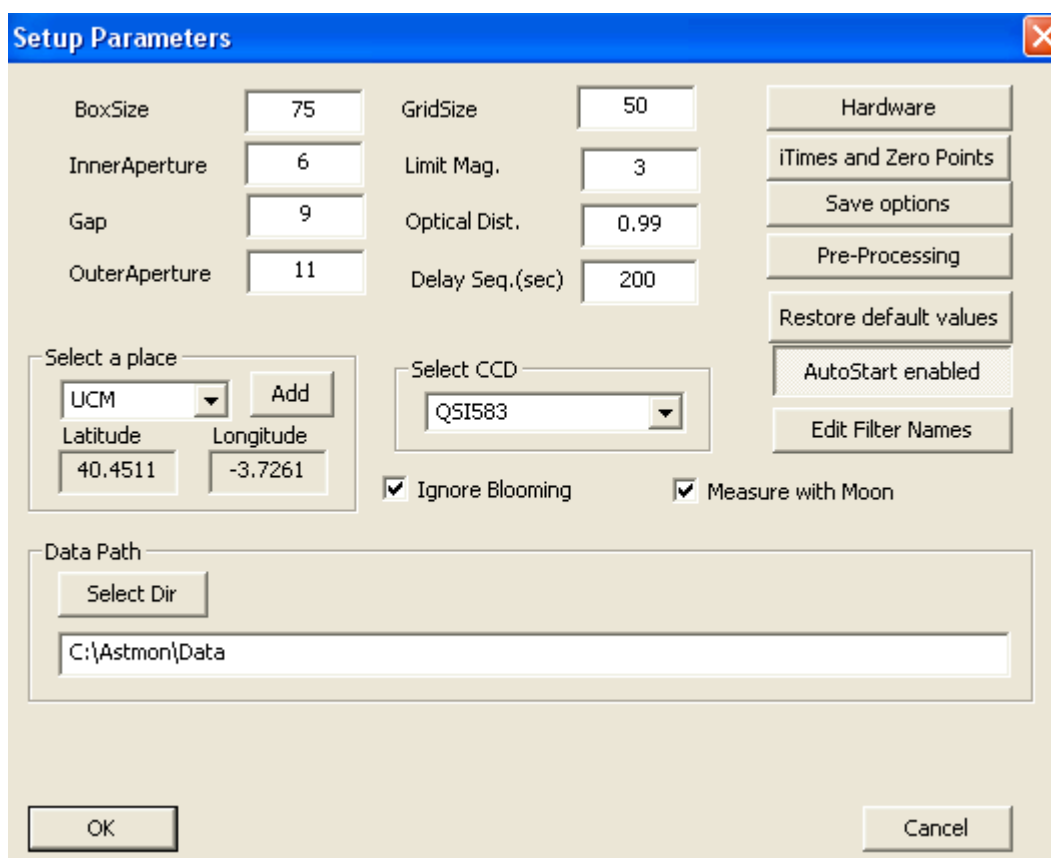


Figura 3.1. Pantalla principal del programa de control del AstMon-UCM.

Prácticamente todos los parámetros existentes son configurables manualmente, pero hay un número determinado que están adecuados a la localización del AstMon-UCM y que no se deben alterar a la ligera.

En todo caso, la lista de parámetros es la siguiente:

- Pantalla principal *Setup*:

- *Box Size* - tamaño en píxeles de la caja sobre la que se hace la estadística de imagen.
- *Inner Aperture* - tamaño en píxeles de la apertura interna donde se realiza la medición fotométrica.
- *Gap* - espacio en píxeles entre la apertura interna y la externa.
- *Outer Aperture* - tamaño en píxeles del anillo externo donde se realiza la fotometría.
- *Grid Size* - determina el tamaño de la caja pintada durante el proceso de creación de la máscara.
- *Limit Mag* - magnitud límite que debe utilizar el programa durante el proceso de identificación automática de estrellas.
- *Optical Dist* - factor que determina la distorsión óptica radial del instrumento.
- *Delay Seq. (sec)* - representa el tiempo de retardo entre secuencias. Puesto que el sistema tan solo tarda tres minutos en completar una secuencia de filtros, se puede introducir un retardo entre secuencias expresado en segundos, que significa el tiempo que el sistema está en espera antes que la siguiente secuencia comience.
- *Select a place* - selecciona el lugar de observación, muy importante para el cálculo del tiempo sidéreo o la posición de las estrellas, si el lugar de observación no está en la lista se pueden incluir nuevas ubicaciones en el botón *Add*.
- *Select CCD* - en caso de tener diferentes cámaras, lo cual no es el caso en el AstMon-UCM, el software viene preparado para poder alternar entre ellas.
- *Ignore Blooming* - durante una medida, se puede producir un efecto conocido como *Blooming* que se traduce como un chorreo o vertido de la carga de un pixel al vecino cuando este es sobreexpuesto; el programa puede crear una máscara temporal para aquellos píxeles que este sobresaturados, lo cual es útil cuando se mide con Luna).
- *Measure with Moon* - des/habilita la ejecución del programa cuando hay Luna; en principio tomar medidas con Luna garantiza una noche no fotométrica, ya que llega a saturar parte de la imagen e ilumina en gran medida el fondo de cielo, pudiendo dar más contribución al brillo que la propia contaminación lumínica terrestre, así que para buscar tales noches, un filtro muy sólido es tener esta opción habilitada.
- *Data Path – Select Dir* - selecciona la carpeta donde se encuentran los ficheros de configuración de tiempos, parámetros, etc.
- *Auto Start enabled* - cuando esta opción está activa el sistema tiene completo control de los algoritmos y comienza y termina automáticamente las medidas. Se recomienda que esta opción esté activada si su uso es de forma continuada. Para cualquier uso particular en que se necesite manipular la configuración estándar, deberá ser desactivada.
- *Restore default values* - restaura los valores por defecto iniciales, es inmediatamente necesario indicar la localización elegida.

- Opciones dentro de *Hardware*:

- *Solar Shutter* - indica posiciones del servo que se corresponden con el obturador en posición de cierre o de apertura. En el AstMon-UCM, como se ha comentado

anteriormente, esta opción no representa ningún cambio pues la pieza ha sido quitada por su malfuncionamiento.

- *Heater power lapse (sec)* - establece la cantidad de segundos que el calentador (o resistencia) de la cúpula estará encendida cuando se necesita calentar el interior de la misma: 'on', así como el tiempo de descanso hasta el próximo encendido: 'off'. Para ambientes muy húmedos conviene que el tiempo en que está activo sea muy alto, pero en las condiciones en que se encuentra el AstMon, los tiempos actuales son correctos.

- *Focuser y Deshumidifier* - son dos opciones nuevas que no disponen de utilidad en el AstMon actualmente. Futuras versiones del dispositivo probablemente incorporen las piezas necesarias que estas opciones controlarán.

- Opciones dentro de *iTimes and Zero Points*:

- *Exp. Times (sec)* - establece los tiempos de exposición en segundos de la CCD para cada filtro en las medidas automáticas; tiempos superiores a 40 s provocarán trazas curvas de las estrellas en vez de puntos debido a la rotación terrestre; si hay Luna los tiempos deben ser muy bajos para evitar saturación.

- *Zero Points* - puntos cero para la fotometría; este valor es automáticamente actualizado cuando se observa en condiciones fotométricas.

- *errZero Points* - errores de los puntos cero para la fotometría, este valor es automáticamente actualizado cuando se observa en condiciones fotométricas.

- Opciones dentro de *Save Options*:

- *Save options* - des/habilita la grabación de imágenes ya sean en formato .fits o .png. Hasta la última actualización, se grababan en .fits y .jpeg, pero estos últimos se han pasado a grabar a formato .png por cuestión de ahorro de espacio y porque los supuestos .jpeg eran en realidad imágenes .bmp ocultas que ocupaban una cantidad de espacio excesivo.

- *JPEG Quality* - indica el grado de compresión del JPEG. Esta opción está deshabilitada por lo comentado en el punto inmediatamente anterior.

- Opciones dentro de *Pre-Processing*:

- *Correct DarkFrame* - des/habilita la corrección automática del Dark.

- *Correct FlatField* - des/habilita la corrección automática del FlatField.

- *Auto-dark* - habilita la creación automática de un Dark maestro.

- *Apply a mask* - aplica una máscara (ver sección 3.2.3).

- Opciones dentro de *Edit Filter Names*:

- Como su nombre indica, este submenú permite cambiar el nombre que llevarán las imágenes correspondientes a cada filtro. Es recomendable tener un nombre de fichero



que haga clara referencia al filtro correspondiente para no tener posteriormente problemas de identificación de las imágenes y los filtros con los que se han tomado. De hecho, la nomenclatura actual debe ser respetada pues hay otras implicaciones que afectan, por ejemplo, a la web donde se están volcando algunas de estas<sup>9</sup>.

### 3.2.3. Máscara y secuencia de toma de datos.

Una vez explicadas todas las opciones de configuración, se está casi listo para utilizar el AstMon-UCM de forma activa.

A continuación se comentarán dos conceptos: primero, un último requisito, no estrictamente necesario pero sí altamente recomendable, que permite mejorar la obtención de imágenes y datos más fiables: el uso de máscara; y segundo, un ejemplo del proceso de toma de datos del AstMon-UCM para ilustrar su funcionamiento normal.

- Máscara:

En la ventana de *Setup* se ha visto que existe una opción llamada *Apply a Mask* (aplicar una máscara), que aún no se ha comentado.

Una máscara es sencillamente una región definible manualmente que excluye de las mediciones los puntos o píxeles de la imagen que quedan fuera o tapados por ella. Es decir, la máscara actúa como un filtro virtual, no mecánico, que se puede crear para cualquier punto donde queramos establecer el AstMon, y cuya función principal es dejar fuera posibles zonas de la imagen que contengan puntos de contaminación lumínica concentrada y elevada, generalmente situados en los bordes de la misma (que corresponden al horizonte) como farolas, edificios, etc.

Es recomendable diseñar una máscara para el sitio donde se tenga establecido el AstMon y así se hizo en el caso del AstMon-UCM. El procedimiento para crear una imagen-máscara es sencillo: basta con acceder al menú desplegable *Grid* → *Create a Mask*. El manual del AstMon<sup>10</sup> describe con instrucciones sencillas cómo usar el ratón del ordenador para crearla.

En el caso de AstMon-UCM, la máscara creada se utiliza en la totalidad de las mediciones bajo cualquier filtro, dejando fuera de ellas una región en forma de anillo concéntrico de unos 5° desde el horizonte hacia el cenit, que elimina todo el enfoque directo de luces de los edificios de Madrid cercanos, las dos cúpulas del Observatorio UCM y el extremo superior de la Facultad de Geología, en orientación Sur. El nombre del fichero de la imagen-máscara actualmente utilizada por el AstMon-UCM es: *mask-ucm.fit*.

- Ejemplo de secuencia de toma de datos:

Una vez configurado el AstMon en posición y orientación correctas, una vez aplicada una máscara conveniente y una vez establecidos los parámetros de configuración deseados, se está preparado para comenzar la ejecución de la secuencia principal que derivará en la obtención de imágenes y datos para hacer ciencia.

Según la configuración adoptada, los tiempos de funcionamiento variarán, por lo que consecuentemente el tiempo total de la secuencia completa de toma y descarga de

<sup>9</sup> Para obtener información en detalle de la web, ver sección 4.6.

<sup>10</sup> Para esta función y, en definitiva, para trabajar con el AstMon-UCM, la lectura del Manual proporcionado por iTec Astronómica S.L. en su versión más reciente es de altamente recomendada lectura. Ver Referencias.

imágenes por filtro también lo hará.

El esquema general de funcionamiento es el siguiente:

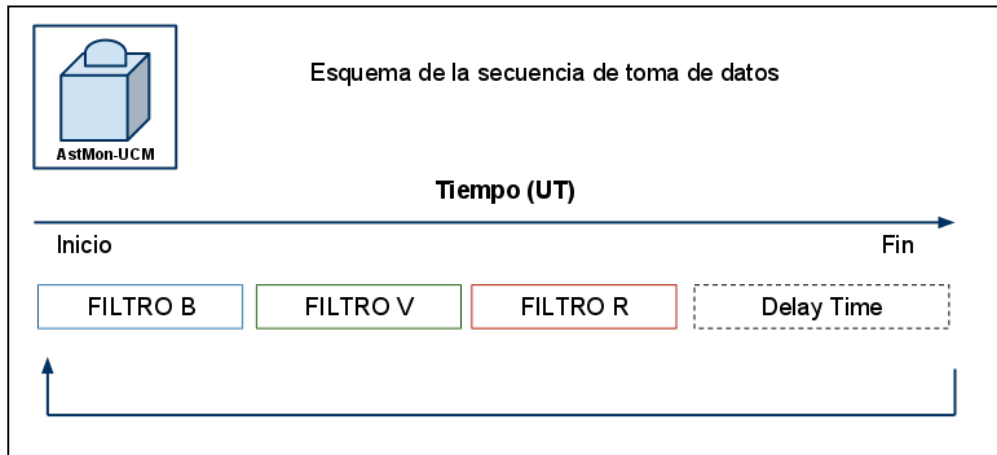


Figura 3.2. Esquema general de pasos de secuencia principal.

En el AstMon-UCM los filtros están ordenados coherentemente a la longitud de onda donde operan. Siendo el orden B, V y R, para luego dejar paso a un *Delay Time*, o tiempo de relajación, o de retraso, o retardo, entre la secuencia recientemente terminada y la próxima.

Este esquema se traduce, en términos temporales, en un total de varios minutos, aunque principalmente dependerá de los tiempos de exposición y de retardo configurados según preferencias del usuario.

Un resumen de tiempos esquematizado mediante un ejemplo es el siguiente:

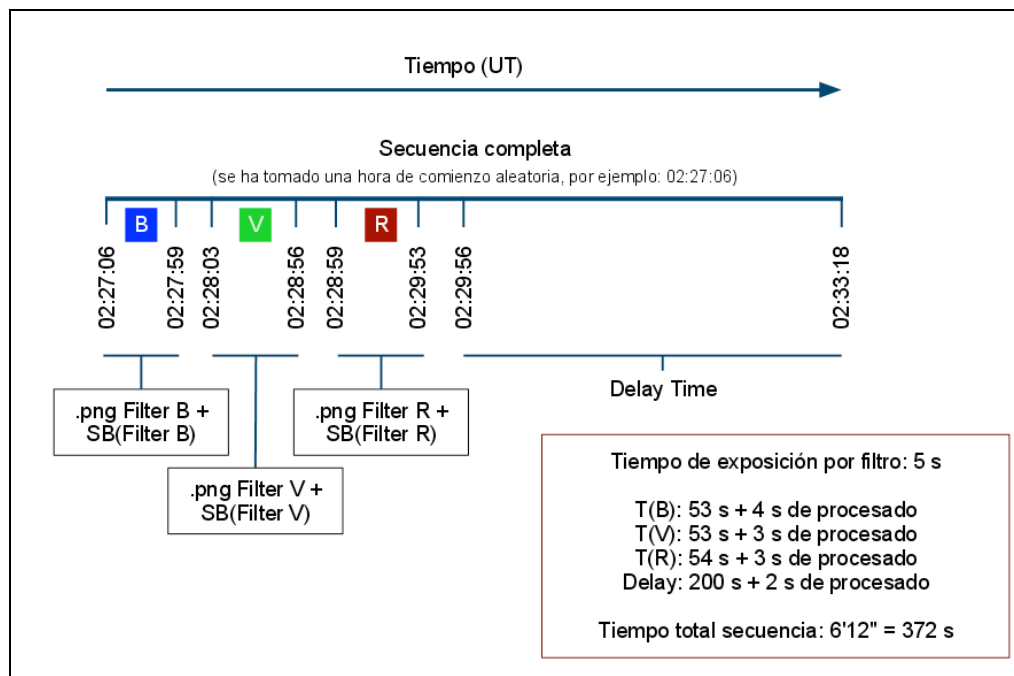


Figura 3.3. Ejemplo de estimación del tiempo de secuencia completa: toma de imágenes divulgativas y para ciencia (.png y .fits) con los filtros B, V, R. Secuencia ejemplo de la noche del 21 de Marzo de 2011.

Hay que reiterar que este último gráfico es un ejemplo meramente ilustrativo de cómo están ordenados los pasos en la toma de datos, y será diferente para cada

configuración fijada.

Los parámetros que, en el caso del AstMon-UCM, han producido este ejemplo y que han sido los que han permanecido durante todo el tiempo de actividad del aparato en el año 2010 (a excepción de alguna variación puntual del tiempo de retraso) y la parte de 2011 son:

- tiempo de exposición para cada filtro<sup>11</sup> = 5 s
- *delay time* = 200 s (retraso entre cada secuencia de imágenes)

Resultando un tiempo total de la secuencia de algo más de 6 minutos para esta configuración, que podrá cambiar para otros parámetros.

El hecho de que haya una amplitud de casi un minuto entre una imagen de un filtro y la siguiente se debe a varios factores:

- el tiempo de descarga de imágenes de la CCD de la cámara instalada en el AstMon-UCM es de entre 15 y 20 segundos,
- el giro de la rueda de filtros,
- y la creación, procesamiento (localización de estrellas y rotación de la imagen) y almacenamiento de las imágenes .png a partir de la original .fits.

En conjunto, implica que se pueda tomar como mucho una imagen en un filtro por cada  $53 \pm 3$  segundos. Es decir, en la configuración establecida se toman 3 imágenes, una imagen con cada filtro, cada 3 minutos aproximadamente.

### 3.3. Responsabilidades sobre el AstMon-UCM.

Desde la recepción del aparato a mediados de Julio de 2010, el AstMon-UCM ha estado bajo supervisión y cuidado constante por parte de quien suscribe este informe.

El acceso al aparato está restringido a ciertos miembros del Dpto. de Astrofísica y CC. de la Atmósfera, lo cual ha garantizado que las personas que han accedido a él hayan mantenido una fluida comunicación con el autor respecto a cualquier novedad acontecida.

Las responsabilidades adquiridas con el instrumento pasan por diferentes tareas de mantenimiento y control como son la vigilancia del buen estado del interior y exterior del habitáculo, revisiones semanales de humedad y cableado, mantenimiento de la página web, contacto directo con el diseñador del aparato, etc.

Todas ellas conforman una gran parte del día a día dedicado al aparato. Para conseguir tener los resultados científicos deseados era necesario tener una muestra de datos lo suficientemente amplia, y esto ha requerido inevitablemente un control y

---

<sup>11</sup> No es necesario que el tiempo de exposición con cada filtro sea el mismo para todos ellos, aunque en este ejemplo es común a los tres por simplificación.

mantenimiento exhaustivo del AstMon-UCM que garantizase su correcto funcionamiento a largo plazo.

- Mantenimiento.

El AstMon-UCM requiere de un mantenimiento sencillo pero constante. Básicamente toda la electrónica y óptica internas están lo suficientemente bien protegidas como para no necesitar ningún cuidado especial, pero sí es conveniente una revisión ocular periódica para evitar pasar por alto posibles deterioros.

*Circulación de aire:* el circuito que sigue el aire está bien definido y generalmente garantiza un correcto enfriamiento de los diferentes componentes. Eso sí, deberá tenerse en cuenta que los diferentes componentes no sean tapados por cables u otros componentes, para evitar sobrecalentamientos.

*Ceolita, arena desecante:* localizada en la cara inferior del habitáculo, esta arena es en principio efectiva a largo plazo, pero se recomienda su cambio una vez al año. Especialmente justo antes de alguna época más lluviosa como puede ser la primavera.

*Cúpula de metacrilato:* al estar a la intemperie, la cúpula se ensucia con facilidad, ya sea por polvo o suciedad, los cuales el agua de lluvia no llega a limpiar completamente. Para evitar rayar el metacrilato, se recomienda no hacer nunca limpieza en seco pues el polvo puede dejar marcas en la superficie y siempre aplicar agua antes de aplicar un paño suave para eliminar la suciedad. La limpieza de la cúpula se ha realizado de forma quincenal aproximadamente aunque debe hacerse una comprobación diaria de la misma porque si se percibe en las imágenes alguna mancha especialmente grande o cercos de suciedad por gotas de lluvia y polvo, debe ser limpiada para que no sigan afectando a las imágenes.

*Control de humedad interna:* si algún termostato fallara, los componentes electrónicos del AstMon-UCM pueden correr diferentes peligros dado que no es un aparato completamente estanco. Para intentar minimizar los posibles efectos de un malfuncionamiento que provoque el aumento de la humedad interna y posible encharcamiento de las baldas, se han colocado dos cajas con material desecante por precipitación y sendos recipientes de contención, similar a la ceolita, que se encuentra en la entrada de aire de la cara inferior. El tiempo de vida útil de estos desecantes depende de la marca, y aunque suele ser extenso, para evitar riesgos, se recomienda su cambio cada 4 ó 5 meses como máximo. Debe prestarse especial atención en épocas de lluvia pues la precipitación del desecante sobre los recipientes de contención es notable. Conviene vigilarlos y vaciar tales recipientes frecuentemente para evitar posibles vertidos involuntarios del precipitado.

- Mejoras.

El AstMon-UCM es un monitor autónomo e integrado que necesita escasa intervención humana y pocos cambios. Sin embargo, a lo largo del desarrollo del trabajo, se han efectuado una serie de cambios con el afán de mejorar el funcionamiento del aparato o arreglar algunos errores de funcionamiento.

*Eliminación del obturador solar:* este componente, situado dentro de la cúpula de metacrilato y sobre el objetivo ojo de pez de la cámara, dejó de funcionar hacia octubre

de 2010. Se comprobó que el servo motor que generaba el giro del obturador se había sulfatado debido probablemente a un exceso de humedad o filtraciones de agua que se produjeron unos días antes. Por tanto, se procedió a la sustracción del obturador solar, su motor, y a la actualización del software de control para que obviase esta pieza en las secuencias de funcionamiento.

El arreglo implicó el desmontaje de la cúpula ya que la pieza no era accesible desde el habitáculo. En el nuevo sellado se aplicó silicona líquida de exterior en los tornillos de anclaje y en las juntas de la cúpula para evitar posibles filtraciones que posiblemente se habían producido a través de ellos.

*Desecantes por precipitación:* hacia las mismas fechas de la remoción del obturador solar, se incluyeron los dos desecantes por precipitación mencionados en el punto anterior. Su función es la de absorber cualquier exceso de humedad en el interior del aparato para evitar el deterioro de cualquier componente electrónico.

*Actualizaciones de software y contacto con el fabricante:* el AstMon es un monitor de cielo muy reciente. La empresa diseñadora iTec Astronómica S.L. sigue trabajando en mejorarlo y hacerlo más estable, por lo que de manera muy frecuente se ha mantenido contacto directo con el director de la empresa, Jesús Aceituno, para estar al tanto de las últimas novedades, cambios o dudas. En concreto, las actualizaciones de software (de las que se han hecho cuatro desde julio de 2010 hasta julio de 2011) han sido las mejoras más numerosas, y han consistido principalmente en cambios de la interfaz de control y la optimización del formato y peso de las imágenes.

*Migración del ordenador portátil al ordenador de sobremesa:* esta ha sido una de las mejoras más sustanciales y relevantes realizadas hasta la fecha. Se habla de ello en profundidad en la sección 3.4.

*Ordenación de datos mediante scripts:* el software de control AstMon-UCM tiene un protocolo de almacenamiento de las imágenes y ficheros de datos bastante eficiente y ordenado. Sin embargo, se han añadido una serie de scripts<sup>12</sup> que han agilizado la lectura de ficheros para cálculos científicos, y otros para el proceso de subida de imágenes a la web<sup>13</sup> dedicada a la difusión del AstMon-UCM.

### **3.4. Migración de ordenador portátil a ordenador de sobremesa.**

Debido a problemas de sobrecalentamiento y apagado automático (junto a otros errores) del ordenador portátil, probablemente causados por sus numerosas horas de uso, se tomó la decisión de realizar una migración de software y datos a otro ordenador. Esta vez un ordenador de sobremesa diseñado exclusivamente para la gestión del AstMon-UCM.

La decisión fue tomada teniendo en cuenta que implicaba principalmente dos puntos negativos:

---

<sup>12</sup> Explicación y líneas de comando de los scripts añadidos en el Apéndice B.

<sup>13</sup> Más información sobre la web en la sección 4.6.

- 1) *pérdida de autonomía*: sacar fuera del habitáculo el ordenador sacrificó la completa autonomía del dispositivo, ya que se pasaba a depender de un aparato externo no independiente y difícilmente móvil, como es un ordenador de sobremesa.
- 2) *transporte de datos más complejo*: el AstMon-UCM se comunicaba con el ordenador portátil a través de un sencillo cable USB, que transportaba todos los datos a la memoria. Sin embargo, al usar un ordenador externo, situado a unos 5 metros de distancia, se corría el riesgo de que un solo cable USB no fuera suficientemente fiable<sup>14</sup>.

Pero el balance ha resultado positivo porque aun perdiendo autonomía y encontrándose el problema del transporte de datos, la migración ha aportado varias ventajas de las que antes carecía. Se comentan a continuación:

- 1) *solución sencilla y de garantía al transporte de datos*: para solucionar este problema, se barajó la opción de utilizar 2 cables de menos metros con un repetidor, pero finalmente se optó por utilizar un conector en red remota con la tecnología USB sobre IP<sup>15</sup>. Es decir, este conector actúa de intermediario entre el AstMon-UCM y el ordenador de sobremesa del siguiente modo: los datos proporcionados por el monitor llegan al conector por USB, el conector entonces los lleva al ordenador a través de un cable de red, en el cual no existe riesgo alguno de pérdida de datos aun en largas distancias. El precio y tiempo ocupado en ello es escaso, y salva exitosamente el problema del transporte de datos.
- 2) *comodidad*: el ordenador de sobremesa es más fácil de manipular, es más accesible dado que se ha situado en la sala Entre-Cúpulas del Departamento de Astrofísica. Ya no es necesario por tanto acceder hasta la azotea para reiniciar el ordenador, o instalar un programa, o descargar datos a un disco duro extraíble, cosas que fueron necesarias hacer en algunas ocasiones y que resultaban especialmente tediosas pues algunas llevaron hasta horas de duración.
- 3) *sobrecalentamiento ínfimo*: el ordenador de sobremesa tiende a sobrecalentarse mucho menos que el portátil pues dispone de más espacio de ventilación interna y externa.
- 4) *almacenamiento de datos mejorado*: la memoria física del ordenador portátil era limitada (unos pocos cientos de GB), y el gran volumen de datos obtenidos por el AstMon-UCM cada noche (variable pero de entre 5 y 15 GB por noche) hacía imposible utilizarlo como almacén de datos a largo plazo. El ordenador de sobremesa fue diseñado teniendo en cuenta esta necesidad, de modo que se le dotó de 4 TB en total (4 discos duros de 1 TB) dedicados expresamente a guardar los datos producto de las observaciones del AstMon-UCM durante un largo periodo de tiempo.

---

<sup>14</sup> El estándar USB dicta que la longitud máxima de un único cable USB es de 5 metros. Los repetidores USB pueden servir para empalmar estos cables y conseguir así longitudes de hasta 25 metros pero se desaconseja llegar a tal extremo. Fuente e información: <http://www.usb.org/home>

<sup>15</sup> Modelo AnywhereUSB/2. DIGI Internacional. Más información en: <http://www.digi.com/products/model.jsp?mid=3290>

Estas razones se han visto sustentadas con el paso del tiempo. La pérdida de autonomía dicha no es tan relevante pues el AstMon-UCM fue adquirido como estación fija, y en principio no se tiene plan alguno de cambiar su estatus a estación móvil. Por otro lado, cualquier posible desplazamiento necesitará únicamente de un ordenador portátil con los drivers de la cámara utilizada y el software de control del AstMon-UCM.



Imagen 3.1. Ordenador actual dedicado al AstMon-UCM. Sala Entre Cúpulas, 4ª planta.

El estado actual del AstMon-UCM es el que puede deducirse tras leer estas mejoras y tareas de mantenimiento: se está utilizando el ordenador de sobremesa dedicado, todos los datos obtenidos por ahora están guardados en su memoria, el conector USB sobre IP está dentro del habitáculo y el obturador solar sigue estando desmontado. La limpieza interior y exterior del monitor se sigue realizando y se presta especial atención a posibles filtraciones de agua o a la saturación de los recipientes del desecante. En cuanto a su funcionamiento, hasta la fecha de presentación de este informe es completamente normal.

***Nota: respecto a la reincorporación del obturador solar al AstMon-UCM.***

Recientes conversaciones sobre este tema con el director de la empresa diseñadora del instrumento, Jesús Aceituno, nos han llevado a posponer sine die la reinstalación del obturador solar pues parece que la cámara y la óptica no llegan a sufrir especialmente durante la exposición diurna.

Quizás pueda abordarse la reinstalación del obturador solar en el futuro, pero para ello habrá que sopesar de nuevo los pros y contras de tal decisión, pues hasta la propia empresa está pensando en eliminarlo de futuras versiones del AstMon.





## 4. Resultados científicos. Brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica. Otros proyectos con AstMon-UCM.

De acuerdo a los resultados científicos obtenidos podemos afirmar que AstMon-UCM cumple las expectativas que se tenían antes de su adquisición y los datos que proporciona ofrecen una completa base para realizar estudios científicos sobre la calidad astronómica del cielo de Madrid y su variación temporal.

En esta sección se muestran los análisis de los datos recopilados después de un año de medidas continuadas. Las conclusiones obtenidas desde estos resultados se comentarán en mayor profundidad en la sección 5.

### 4.1. Brillo de fondo de cielo.

El AstMon es un dispositivo dedicado al monitoreo del cielo nocturno y, aparte de las constantes fotométricas de extinción, tiene una función principal que consiste en medir la magnitud de brillo de fondo de cielo (a veces escrito como SB, de sus siglas en inglés Sky Brightness) del lugar donde esté situado.

Se presentarán por separado las variaciones del brillo de fondo de cielo para las bandas fotométricas disponibles (B, V y R de Johnson-Cousins) ya que no responden por igual a las diferentes condiciones del cielo de Madrid y sus cambios.

- Definición y datos.

El brillo de fondo cielo se define como la cantidad de luminosidad propia y reflejada de la porción de cielo visible desde un lugar concreto. Los factores que lo producen son varios y de diferente contribución. Por ejemplo, la presencia de la Luna aumenta de forma considerable el brillo de fondo de cielo. En noches sin Luna sobre el horizonte, se observan cielos más brillantes en lugares de mayor contaminación lumínica ya que la luz artificial enviada hacia la atmósfera se refleja en los aerosoles y es reflejada de nuevo hacia el suelo.

La observación del cielo nocturno estrellado se ve dificultada por este brillo de fondo de cielo, por lo que su medida está relacionada con el grado de contaminación lumínica y por tanto, es una medida de la calidad de cielo de que dispone un determinado punto geográfico.

Por otro lado, debe recordarse que AstMon proporciona medidas automáticas de brillo de cielo. Se realizan medidas siguiendo una secuencia programada (llamada *secuencia principal* o *main sequence*) tal y como se ha explicado en la sección 3.2, y los productos quedan guardados en una carpeta diaria, en concreto en una subcarpeta llamada 'Sky Brightness'. En función de lo que se haya decidido archivar, la carpeta puede llegar a contener los siguientes datos:

1. *Imágenes en cada filtro en formato astronómico FITS y/o jpeg o png.*

Son las imágenes originales procesadas de BIAS, corriente de oscuridad y variación espacial de sensibilidad (Flat Field). Están listas para medir en ellas y

deben ser archivadas para futuros estudios. El formato jpeg y png (adoptado posteriormente para ahorrar espacio físico en el ordenador de almacenamiento) permite una visualización rápida pero no sirven para realizar medidas sobre ellas.

2. *Imágenes de brillo de fondo de cielo.*

No sólo proporcionan el valor de este parámetro en el cénit sino un mapa completo de su valor en todos los puntos visibles sobre el horizonte. Estas imágenes son el resultado del procesado posterior de AstMon sobre las imágenes directas en cada filtro una vez aplicadas las calibraciones del instrumento.

3. *Ficheros de texto en formato ascii donde se almacenan para varias posiciones seleccionadas los valores de SB en cada exposición.*

- Comentario respecto a la localización del AstMon-UCM.

El AstMon-UCM está instalado en la terraza de la Facultad de CC. Físicas de la UCM dentro de las instalaciones del Observatorio UCM. La Ciudad Universitaria se sitúa en el extremo W-NW de la ciudad de Madrid, y esta es una zona en que hay mucha menos actividad nocturna que en otras partes de la misma, quedando además refugiada por grandes zonas verdes y oscuras como el Monte de El Pardo y la Casa de Campo hacia el N y S respectivamente.

Por lo tanto se debe recordar que el Observatorio UCM es un observatorio urbano afectado por contaminación lumínica.

Los factores que contribuyen más notablemente a la contaminación lumínica y consecuente desviación de las medidas del lugar son:

- i. El excesivo alumbrado público de la Ciudad Universitaria, que actualmente se está cambiando por luminarias más eficientes y de menor proyección vertical) (ver estudios al respecto en las Referencias)
- ii. La contaminación lumínica de Madrid afecta al brillo de fondo de cielo de lugares muy apartados por lo que con más razón a la Ciudad Universitaria que pertenece al núcleo urbano de Madrid, aun estando situado a cierta distancia del centro. Su efecto se comentará en este punto y en las conclusiones del trabajo.

- Imágenes de brillo de fondo de cielo.

Las imágenes procesadas a partir de las imágenes originales son los mapas de SB, en los que queda distribuida mediante un gradiente de colores la magnitud de cada zona como se muestra en el ejemplo de la figura siguiente:

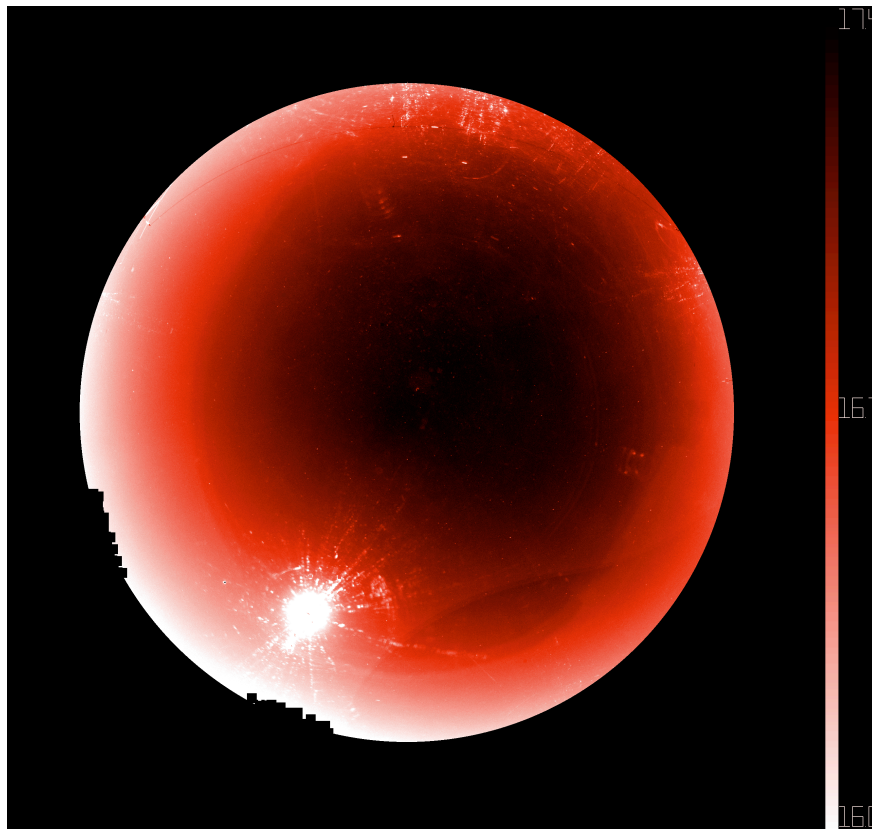


Figura 4.1. Imagen representando el mapa de brillo de fondo de cielo en el filtro V. Fechada a 18 de octubre de 2010, 19:37 (UT). Se aprecia la Luna y su efecto sobre el brillo de esa zona del cielo. La imagen en falso color está codificada según la escala mostrada a la derecha.

Desde su instalación hacia mediados de julio de 2010, las imágenes de SB quedaban definidas con un código de color en forma de gradiente rojizo, como se ve en la imagen anterior, pero desde junio de 2011 se realizó una modificación en el software (versión actual) que cambiaba el código de colores.

Un ejemplo de las imágenes de SB actuales es el siguiente:

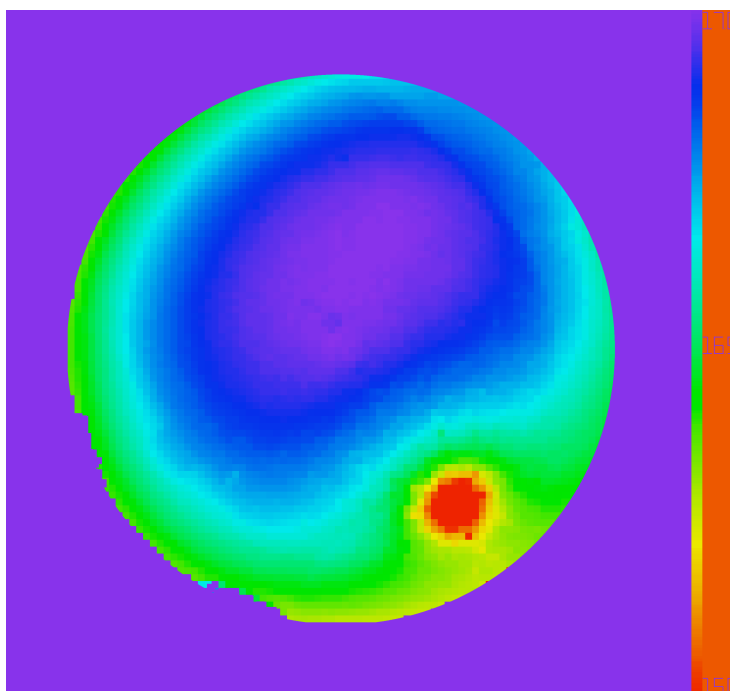


Figura 4.2 Imagen representando el brillo de fondo de cielo en el filtro V en su versión más reciente. Fechada a 15 de agosto de 2011, 02:51 (UT). Se aprecia claramente la Luna en la región inferior derecha, y a la derecha de la imagen, la leyenda con el código numérico del nuevo gradiente de color en magnitudes.

#### 4.1.1. Variación del brillo de fondo de cielo con la altura.

La cámara del AstMon-UCM tiene una óptica ojo de pez que le permite obtener imágenes de toda la bóveda celeste. De ellas, extrae el valor de brillo de fondo de cielo o SB para cada píxel, que variará según la zona analizada.

Se espera y se observa una mayor luminosidad en regiones cercanas al horizonte, donde los focos de contaminación lumínica inciden directamente sobre el objetivo dando altos valores de luminosidad que no representan el brillo de fondo de cielo.

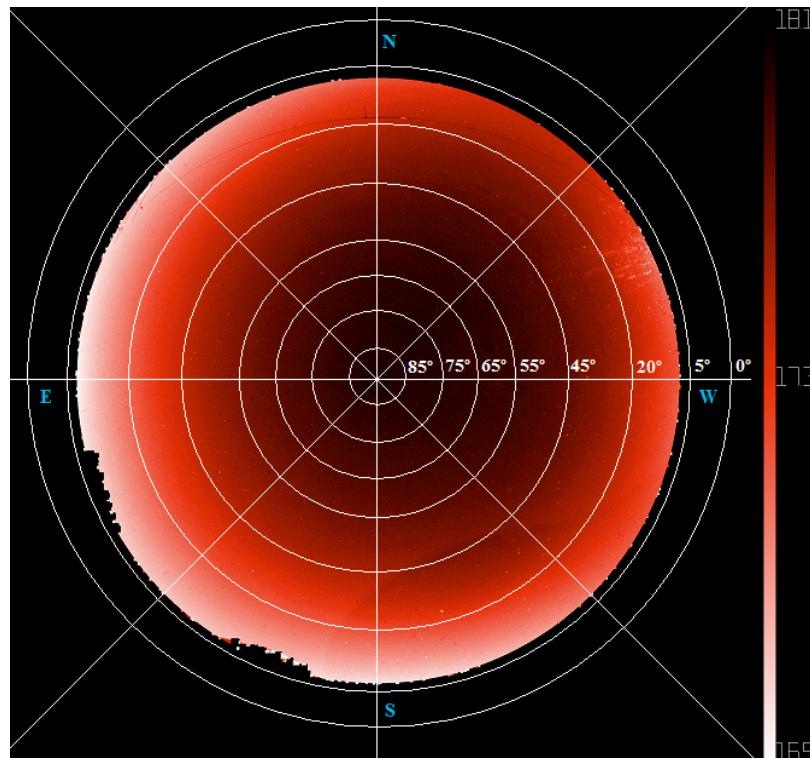


Figura 4.3. Imagen de SB con plantilla acimutal. Fechada a 12 de noviembre de 2010, 04:42 (UT)

Esta imagen procesada corresponde al día 12 de noviembre de 2010 a las 04:42 (UT) bajo filtro V y es un buen ejemplo de un instante de una noche despejada. Se le ha añadido una plantilla representando un sistema de referencia acimutal (en blanco) para facilitar la descripción. El gradiente color rojizo representa el cambio de magnitud y cómo sigue un oscurecimiento a medida que ascendemos en altura.

Según la región anular estudiada, se han obtenido los siguientes resultados:

##### *Anillo de 0° a 5°:*

Los primeros grados están ocultos por la máscara adaptada para el AstMon-UCM ya que se encontraban numerosos puntos de luz enfocando directamente al aparato, como farolas o edificios cercanos, y no proporcionaban sino un sesgo en esa zona, ya de por sí altamente contaminada. Por ello no se dispone de valores de brillo para esta región, pero también carece de interés más allá de saber que serán lógicamente los de menor magnitud de toda la imagen.

#### *Anillo de 5° a 20°:*

Esta es la región más cercana al horizonte y tiene los valores más altos de brillo. Especialmente en las orientaciones Este y Sur. Salvando algunos puntos donde pueda haber nubes, los valores de brillo de fondo de cielo típicos para esta imagen son de en torno a  $16.7 \pm 0.2$  mag/arcsec<sup>2</sup>. La zona orientada al Norte-Noroeste se ve claramente menos influenciada por contaminación superficial, probablemente debido a la oscuridad proporcionada por el Monte de El Pardo y la Casa de Campo.

#### *Anillos desde 20° hasta 55°:*

En esta región se produce una clara disminución de brillo de fondo casi lineal a medida que ascendemos en altura, o lo que es lo mismo, un oscurecimiento al ascender en altura. En la imagen, se parte de valores de brillo de fondo de aproximadamente 17.4 y se llegan a 17.7 mag/arcsec<sup>2</sup>.

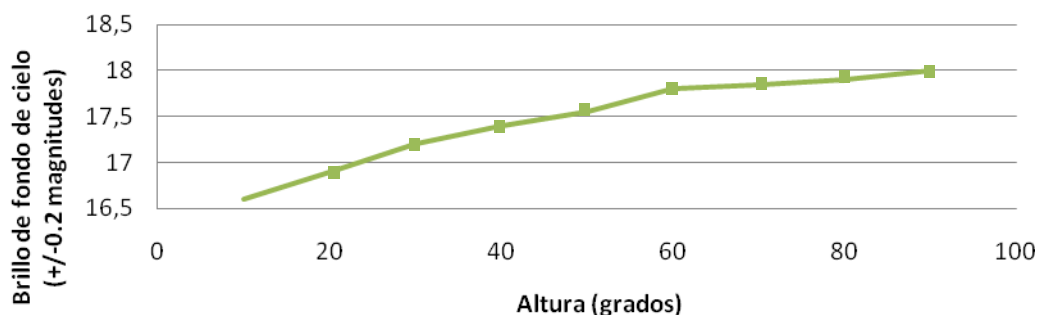
#### *Anillos desde 55° hasta 85°:*

Esta región suele tener dos arcos diferenciados debido a la orientación de las zonas oscuras situadas al Norte y Noroeste de Ciudad Universitaria y el resto de la ciudad, más luminosa. El arco Norte-Oeste de este anillo tiene valores típicos altos, propios de la zona cenital, la más oscura de todas, y en esta imagen están en torno a magnitud 17.9. Sin embargo, el arco restante del Norte-Este-Suroeste tiene una magnitud media ligeramente menor, de aproximadamente 17.8 mag/arcsec<sup>2</sup>.

#### *Región cenital, de 85° a 90°:*

Esta región tiene la media más elevada, llegándose en esta imagen a magnitud  $18.0 \pm 0.1$ .

A continuación puede verse gráficamente lo anteriormente comentado:

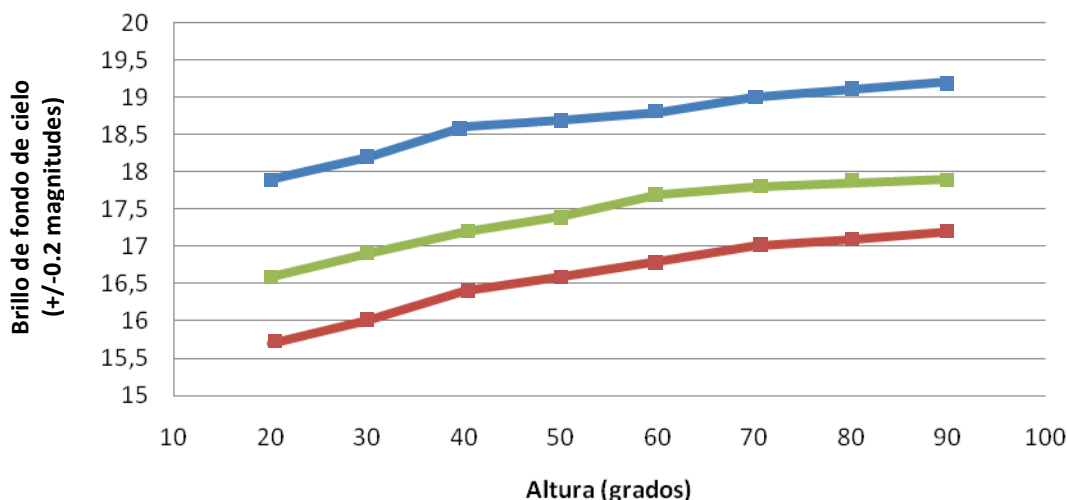


Gráfica 4.1. Variación del brillo de fondo de cielo con la altura para una imagen ejemplo en el filtro V. Imagen del día 12 de noviembre de 2010, 4:42 a.m. (UT).

La variación temporal del brillo de fondo de cielo durante la noche es también sensible, pero los valores de imágenes tomadas en periodos de tiempo cortos no difieren sustancialmente, al margen también del filtro utilizado. Es decir, en un lapso de tiempo de minutos y condiciones atmosféricas estables y despejadas, tendremos comportamientos similares de variación de brillo de fondo de cielo independientemente del filtro utilizado. Cada filtro tendrá sus valores típicos, pero la evolución será similar.

Continuando con la imagen ejemplo, y siguiendo el mismo análisis con la altura, puede verse que la variación con los filtros B y R es similar a la del filtro V. Se

representa su evolución en azul (para el filtro B) y rojo (para el filtro R) junto a la anteriormente deducida para el filtro V (en verde):



Gráfica 4.2. Variación del brillo de fondo de cielo con la altura para una terna de imágenes del día 12 de noviembre de 2010, 4:42 a.m. - 4:45 a.m. (UT). Filtro B en azul, filtro V en verde, filtro R en rojo.

Como se ha dicho, el análisis de la variación del SB con la altura resulta ser muy parecido para prácticamente cualquier imagen procesada independientemente de su fecha. Se observa un crecimiento casi lineal de la magnitud a medida que el observador mide hacia el cenit. Las diferencias pueden encontrarse obviamente en las imágenes de días con mucha nubosidad (intermitente o constante) y teóricamente según la fecha. Ambos casos se estudian a continuación.

#### 4.1.2. Variación del brillo de fondo de cielo estacional. Valores medios típicos de fondo de brillo de cielo para el Observatorio UCM.

Para analizar la enorme cantidad de datos recogidos se han decidido utilizar los siguientes criterios de selección y análisis:

a) Valores *cenitales* como medida de referencia.

Tal decisión se basa en que constituye la región más oscura y alejada de los focos de contaminación lumínica presentes en buena parte del horizonte. Se tienen datos de dos regiones más, situadas a unos 50° y 25° aproximadamente, pero estos valores tienen una desviación del valor real muy notable, de entre 0.5 a 1 magnitudes, debido a la contaminación lumínica propia de esas alturas. Este valor cenital es el comúnmente utilizado cuando no se dispone de instrumentos que proporcionen mapas de brillo de fondo de cielo.

b) Valores *medios* de cada noche.

El valor medio de SB para cada filtro y noche se ha obtenido haciendo una media aritmética de los valores de SB cenitales y el resultado ha sido asignado a cada noche

como su *valor medio de brillo de cielo en el filtro B, V o R*. Estos resultados pueden entenderse como los derivados del análisis de la región óptima (en cuanto a contaminación lumínica) del cielo de Madrid y a amplia escala temporal. Cualquier estudio a más corto plazo implicaría una revisión particular de la noche o noches del periodo bajo estudio y quizás los valores o conclusiones podrían diferir de las aquí expuestas.

En cualquier caso, los resultados presentados van más allá de su aspecto temporal y pretenden dejar claro cuál es el valor medio típico de brillo de fondo de cielo para el Observatorio UCM.

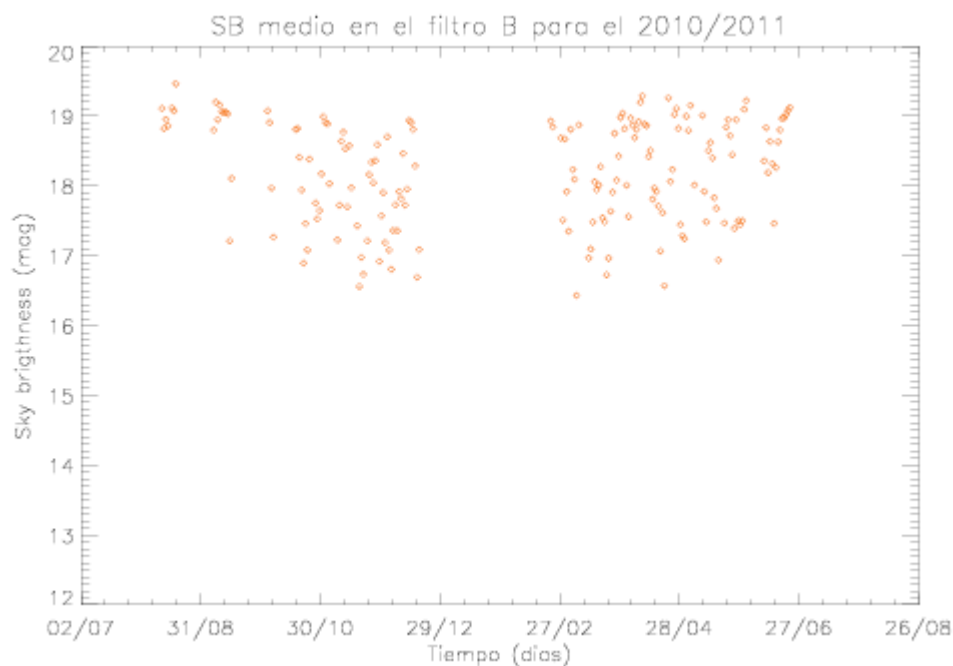
- Variación del brillo de fondo de cielo estacional.

Según el filtro utilizado se han obtenido las siguientes gráficas de valores medios típicos de SB a lo largo del periodo de estudio.

Cada punto en las gráficas se refiere al valor medio de brillo de fondo de cielo correspondiente a una noche en su filtro correspondiente.

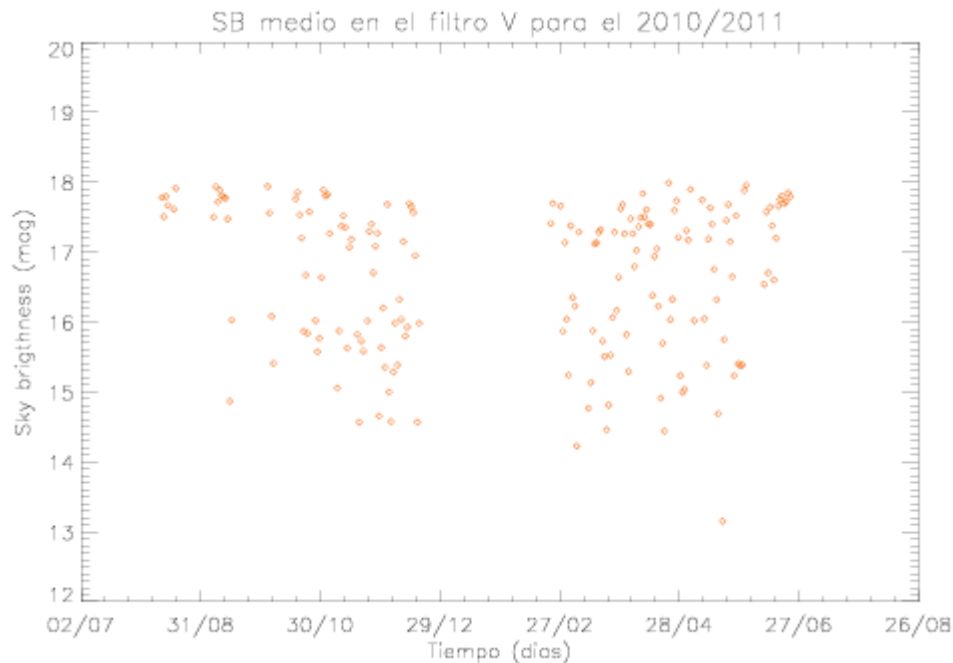
Valores situados a mayor magnitud en la gráfica indican noches en que las condiciones atmosféricas medias han sido lo suficientemente buenas como para que, al margen de alguna posible nube, el valor medio de SB haya sido el correspondiente a una noche despejada.

Debe destacarse que se han eliminado algunos puntos pertenecientes a noches en que por probables fallos de medición, se habían obtenido valores medios excesivamente altos o bajos en los tres filtros.

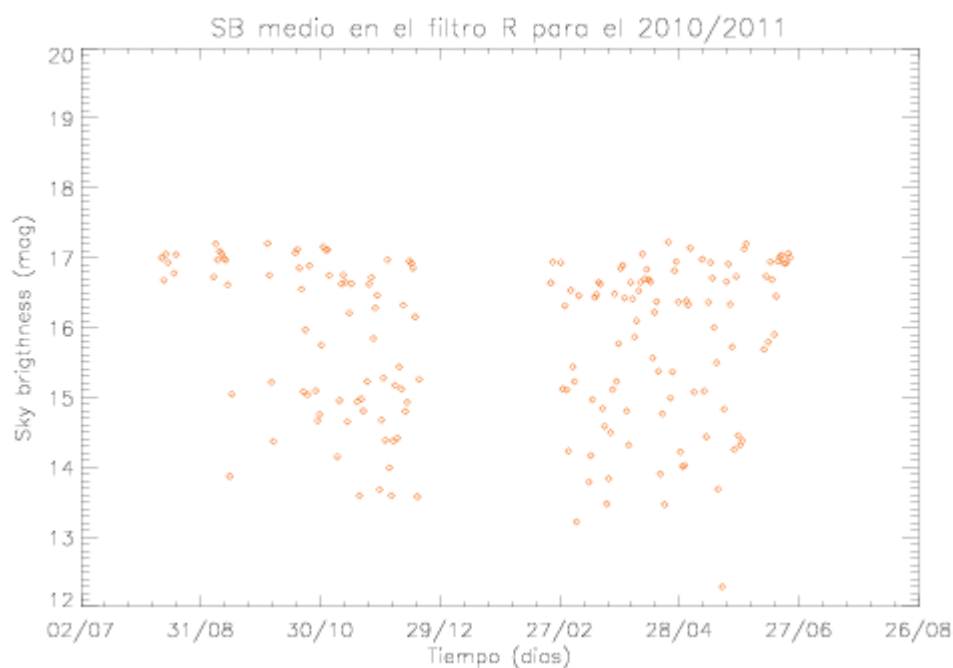


Gráfica 4.3. Brillo de fondo de cielo medio. Filtro B. Agosto 2010 – Junio 2011.





Gráfica 4.4. Brillo de fondo de cielo medio. Filtro V. Agosto 2010 – Junio 2011.

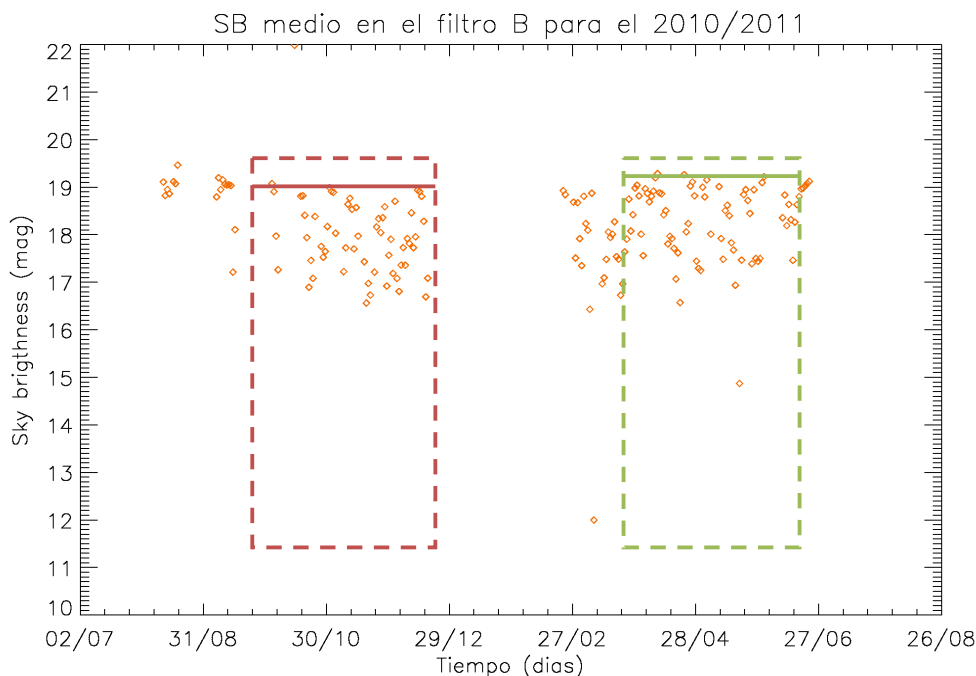


Gráfica 4.5. Brillo de fondo de cielo medio. Filtro R. Agosto 2010 – Junio 2011.

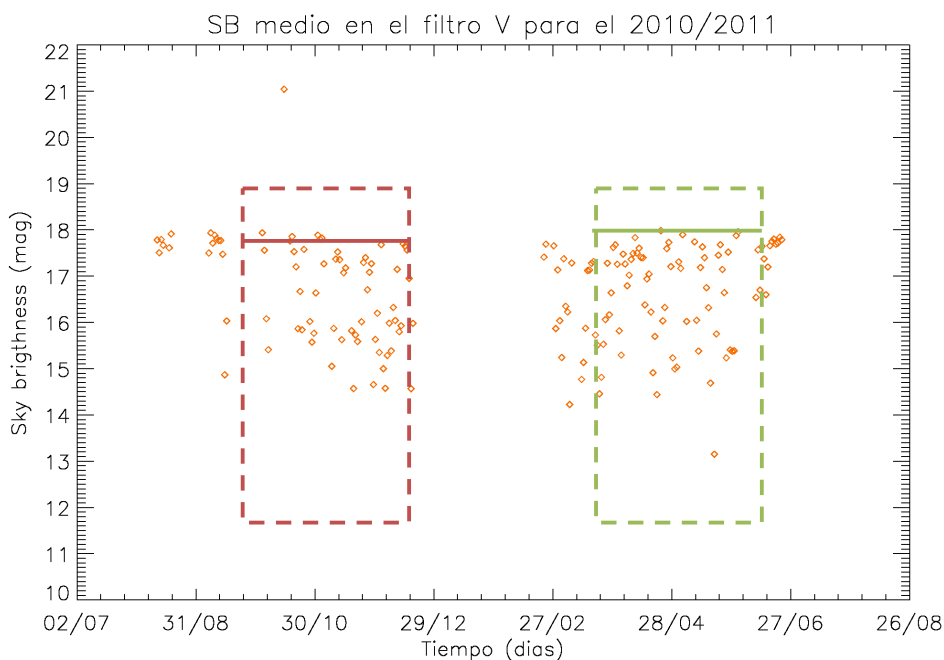
Se aprecia con claridad la ausencia de puntos desde finales de 2010 y durante los meses de enero y febrero de 2011, y es que en ese periodo no se recogieron datos debido a varios factores: malfuncionamiento y eliminación del obturador solar, actualizaciones de software y migración del ordenador portátil al de sobremesa (migración comentada en la sección 3.4). También se observan menos puntos durante las primeras semanas de funcionamiento, y es que en ellas se realizaron diversas pruebas de adaptación y comprensión del aparato que en ocasiones provocaron que no se mantuviera encendido.

Por el momento, la muestra no es suficientemente amplia y representativa como para sacar alguna conclusión sólida a un nivel estacional.

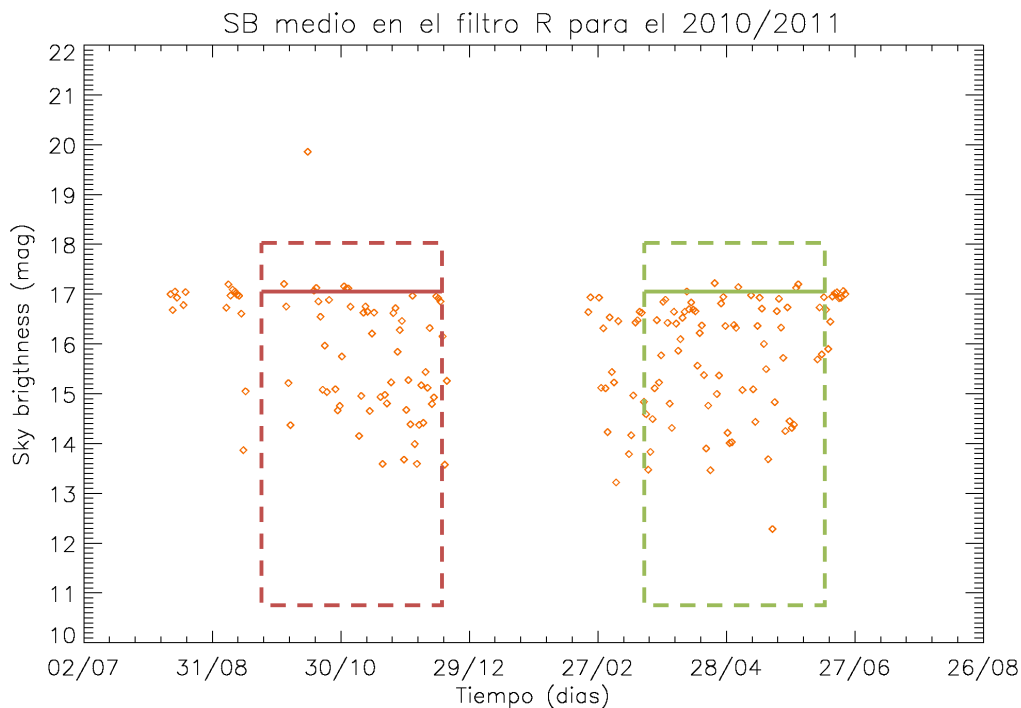
Sin embargo, a grandes rasgos y con los datos disponibles, se podrían definir para cada filtro dos grandes conjuntos de valores: la estación de otoño de 2010 y la primavera de 2011. A continuación se muestran ambos periodos en recuadros rojos para otoño de 2010 y recuadros verdes para la primavera de 2011:



Gráfica 4.6. Selección de las dos estaciones con datos suficientes disponibles en el filtro B.



Gráfica 4.7. Selección de las dos estaciones con datos suficientes disponibles en el filtro V.



Gráfica 4.8. Selección de las dos estaciones con datos suficientes disponibles en el filtro R.

En cada filtro, se han tomado los datos de mayor magnitud en cada estación para hacer una media del valor de SB en cada estación.

Estos son:

<i>Estación</i>	<i>SB medio / filtro (mag/arcsec2)</i>		
	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>R</b>
<b>Otoño 2010</b>	$19.05 \pm 0.11$	$17.74 \pm 0.15$	$17.02 \pm 0.14$
<b>Primavera 2011</b>	$19.24 \pm 0.10$	$17.92 \pm 0.16$	$17.10 \pm 0.16$

Tabla 4.1. Valores medios de SB en cada filtro para las dos estaciones analizadas.

Bajo los tres filtros se observa un pequeño aumento en la magnitud en la primavera de 2011. Pero dada la insuficiente muestra de estaciones y teniendo en cuenta que el error acumulado acerca todos los valores medios, no se pueden sacar conclusiones sólidas respecto al posible aumento de SB en las estaciones de primavera y verano.

Si hay factores externos que favorecen un cielo más oscuro en unas u otras estaciones es algo que puede ser estudiado en el futuro, pero sacar alguna conclusión a fecha de redacción de este trabajo sobre tales factores no es posible dada la falta de una muestra de datos suficientemente representativa.

- Valores medios típicos de brillo de fondo de cielo con AstMon-UCM.

Como ocurre en cualquier otro, los instrumentos de observación del Observatorio UCM necesitan una serie de correcciones que mejoren sus medidas.

Como se ha visto, entre otros datos, el AstMon-UCM es un aparato capaz de proporcionar el valor de brillo de fondo de cielo para cualquier momento de la noche.

Tener una muestra suficientemente grande permite obtener unos valores medios diarios que, como se ha aclarado al principio de la sección, es la media de los valores cenitales de cada noche.

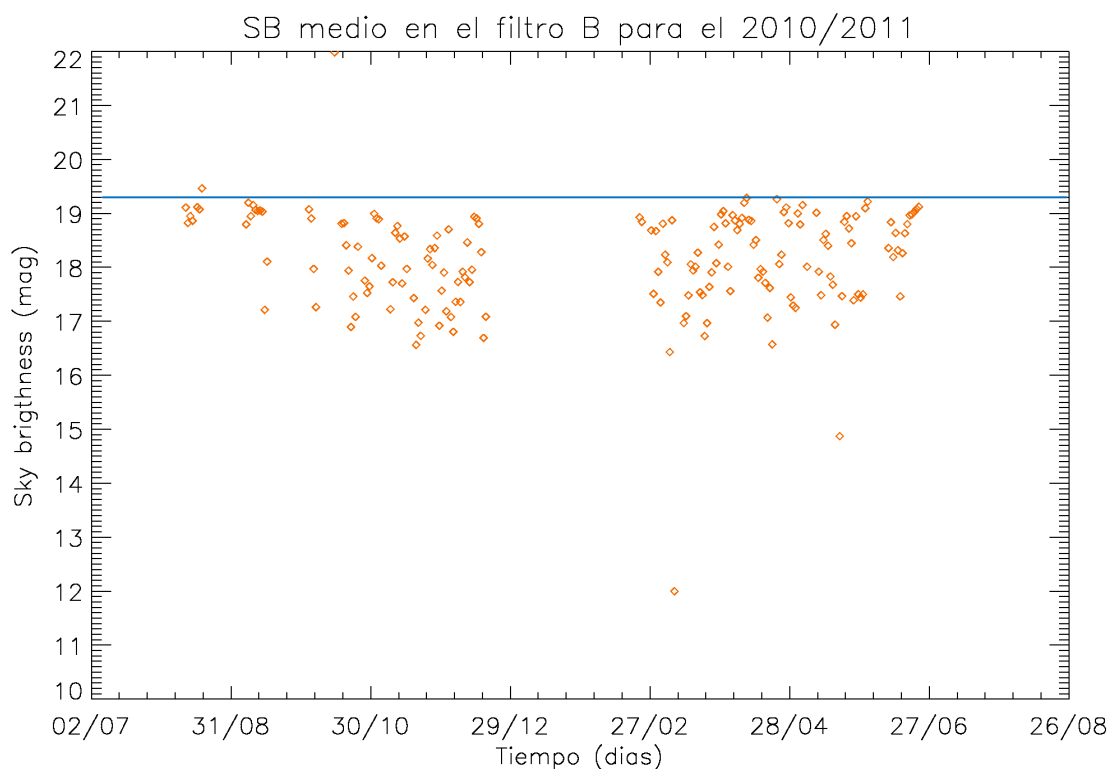
Si a su vez se elabora una media de los valores medios diarios de mayor magnitud, o lo que es lo mismo, tomando los valores que pertenecieron a noches a priori fotométricas, puede decirse que se tiene un valor medio de brillo de fondo de cielo en cada filtro que se puede asignar como el valor típico de SB en una noche fotométrica para el Observatorio UCM.

Esto representa una de las mayores utilidades posibles de este aparato.

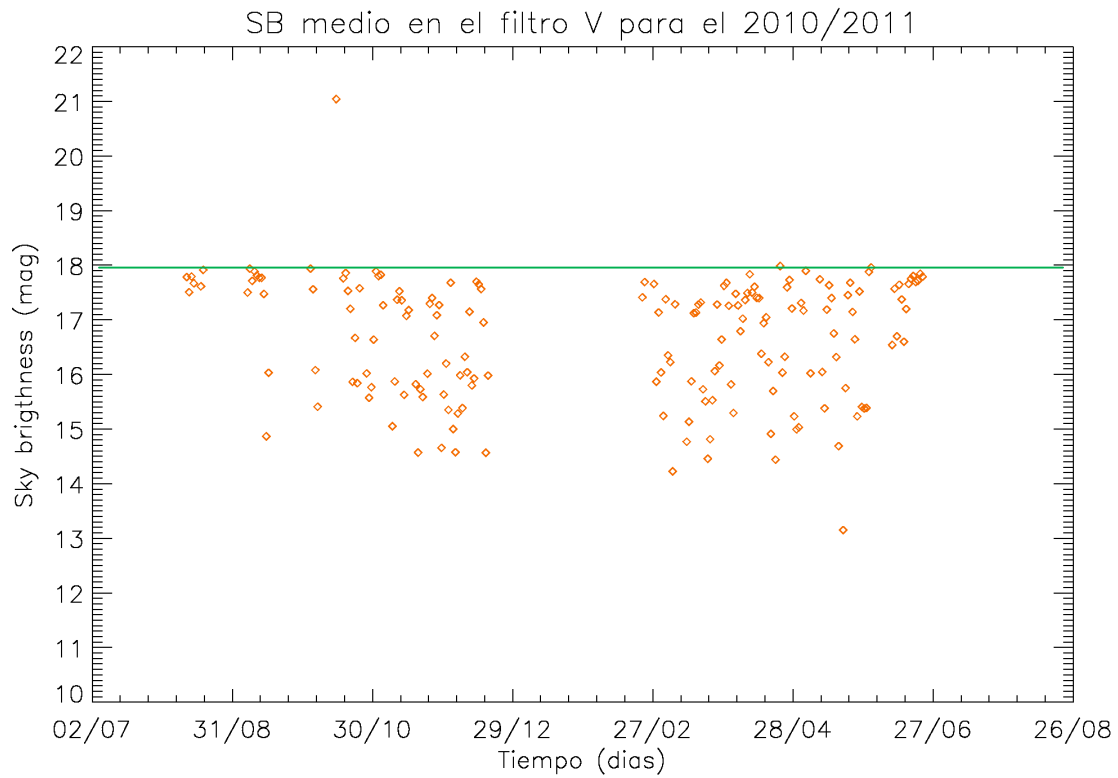
Las gráficas anteriores en que se acumulan todos los valores medios son las que se han usado para elaborar el valor típico de SB en cada filtro.

El cálculo del valor típico de SB para el Observatorio UCM en cada filtro se ha basado en la selección del 5% de los valores medios de SB cenital más alto, eliminando los valores fuera de rango (por encima de 19.5 mag/arcsec<sup>2</sup> en cualquier filtro), y haciendo su media aritmética. La razón para adoptar el criterio de selección del 5% de valores superiores se ha basado en que tal porcentaje de datos es el que tiene una dispersión media de hasta 0.2 magnitudes, valor dispersivo considerado como aceptable a la hora de seleccionar noches despejadas.

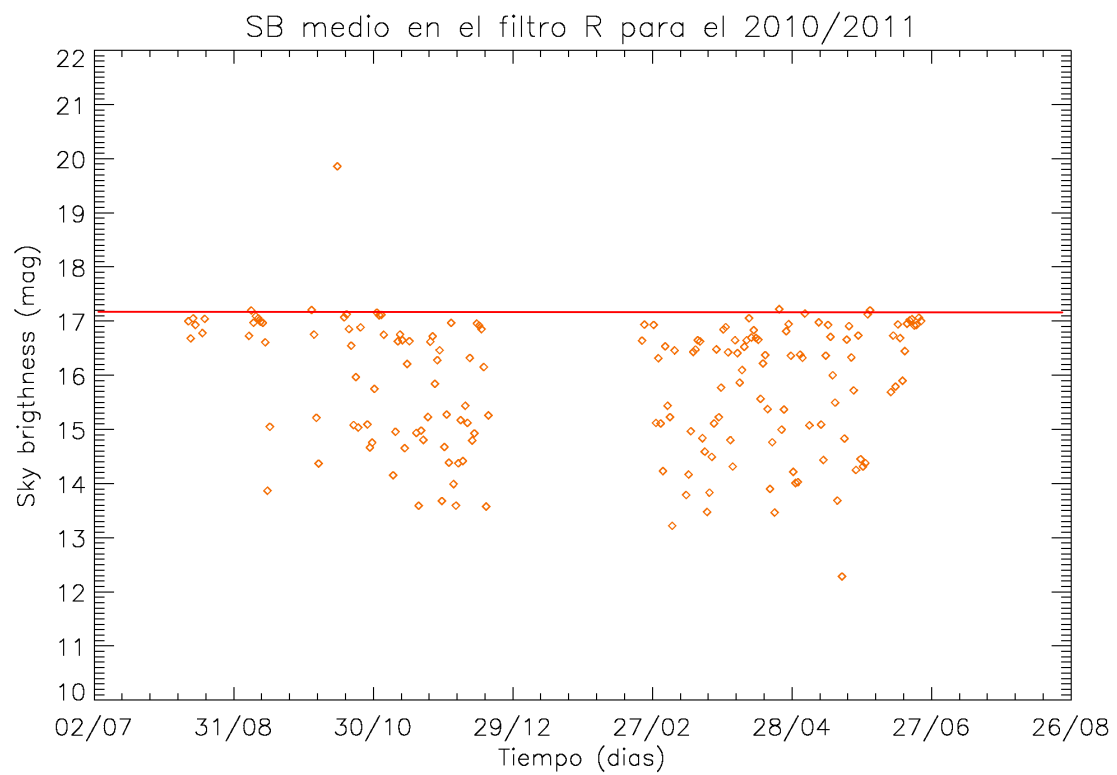
A continuación se presentan las gráficas anteriores junto a los valores típicos de SB mostrados como líneas continuas para cada filtro.



Gráfica 4.9. Valor medio típico de brillo de fondo de cielo para el filtro B.



Gráfica 4.10. Valor medio típico de brillo de fondo de cielo para el filtro V.



Gráfica 4.11. Valor medio típico de brillo de fondo de cielo para el filtro R.

Resumiendo los resultados en una tabla, los valores medios típicos de SB obtenidos son los siguientes:

Valor medio típico de brillo de fondo de cielo en noches despejadas para el Observatorio UCM (selección del 5% óptimo)			
<i>filtro</i>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>R</b>
<b><i>SB (mag/arcsec<sup>2</sup>)</i></b>	<b>19.20 ± 0.12</b>	<b>17.90 ± 0.09</b>	<b>17.13 ± 0.08</b>

Tabla 4.2. Valores medios típicos de SB por filtro del Observatorio UCM según AstMon-UCM.

Estos valores son típicos de núcleos urbanos afectados de una alta contaminación lumínica. Aun así, dejando claro que los valores están lejos de ser indicativos de un cielo de calidad, el cálculo de estos valores medios de típicos de SB está basado en una generosa muestra de datos, y ha sido estrictamente corregido de valores sesgados como para que puedan ser considerados resultados sólidos para los cielos de Madrid, y por extensión, del Observatorio UCM.

- Criterio experimental de identificación de noches fotométricas:

La definición de una noche fotométrica no está universalmente establecida, pero se puede asumir una noche (o parte de ella) como fotométrica si se consigue tener un cielo suficientemente despejado tal que, al realizar cálculos mediante la recta de Bouguer, el coeficiente de extinción obtenido sea prácticamente igual para todas las estrellas detectadas (independientemente de su posición) durante todo el periodo de toma de imágenes.

El AstMon-UCM por ahora utiliza unas constantes instrumentales que fueron calculadas en su calibración inicial. A su vez, tiene un protocolo establecido en que considera una noche (o una imagen de una secuencia concreta) como fotométrica si consigue detectar el número suficiente de estrellas tal que el ajuste por regresión lineal del coeficiente de extinción cuente con un coeficiente de correlación de 0.96 o superior.

Cuando encuentra tal correlación, redefine las constantes instrumentales propias del AstMon en tal lugar con las nuevas. Sólo las actualizará cuando encuentre un ajuste de correlación aún mayor, pero, hasta entonces, mantendrá las mejores por defecto.

Es decir, la exigencia del instrumento para definir una noche como fotométrica es elevada, y mientras que en lugares de condiciones atmosféricas generalmente estables (lugares de escasa nubosidad, precipitación y poca variación de temperatura) este criterio se cumple con cierta facilidad, en un lugar como Madrid, tales condiciones son más complicadas de conseguir. Aunque se puede conseguir una correlación muy alta con escasos puntos, lo óptimo es disponer de medidas de bastantes estrellas a diferentes alturas, y tal identificación no se ha dado usualmente aún en todo el periodo de uso del AstMon-UCM. Además, por norma general, los coeficientes de extinción suelen tener una elevada dispersión, como se verá en la sección 4.2, lo cual hacen difícil encontrar ajustes de gran correlación.

En noches totalmente despejadas, lo habitual es tener identificadas entre 10 y 15 estrellas por imagen, pero no suelen estar suficientemente repartidas en altura (se concentran generalmente en la zona más cenital) como para dar resultados precisos en el ajuste a la recta de Bouguer. En ocasiones, pueden llegar a detectarse alguna más

aunque, al parecer, no son suficientemente buenas medidas como para llegar a redefinir las constantes instrumentales.

Un ejemplo del programa identificando unas 12 estrellas en un momento dado de la noche es el siguiente:

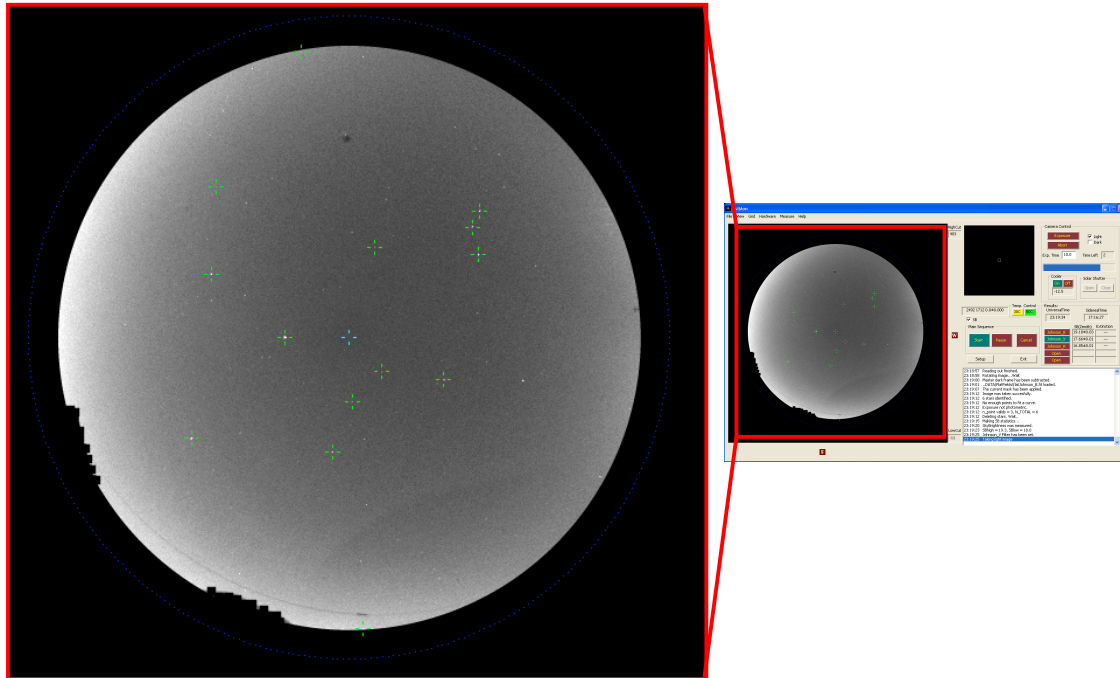


Figura 4.4. Ampliación de la ventana del programa de control. Las marcas en verde son estrellas identificadas por el AstMon-UCM.

Es probable que la dificultad de identificación de estrellas a diferentes alturas se deba a que existe mucha contaminación lumínica hasta una elevada altura, como se ha visto con anterioridad.

Por tanto, dado que los ajustes del coeficiente de extinción no son especialmente fáciles de afinar, parece sensato seguir el siguiente proceso de dos pasos para definir una noche como fotométrica:

- primero: escoger las noches de menor brillo de fondo de cielo como primer indicador de noches posiblemente fotométrica (aunque se están descartando noches fotométricas con Luna), y
- segundo: para una mayor seguridad, estudiar en tales noches el comportamiento de los coeficientes de extinción y observar si sus rectas de Bouguer tienen una correlación elevada.

Los coeficientes de extinción atmosférica y constantes instrumentales del AstMon-UCM se comentan en la sección 4.2 y subsecciones.

- Comparación con el AstMon del Centro de Astronomía Hispano-Alemán (CAHA). Calar Alto, Almería.

Tras haber obtenido los valores medios típicos de brillo de fondo de cielo con el AstMon-UCM, se ha afirmado que en general, los cielos de Madrid están claramente afectados por la contaminación lumínica.

Sin embargo, una rápida comprobación de que los valores considerados como óptimos en el cielo de Madrid son bastante más brillantes que los de otros lugares se puede hacer comparando alguna imagen de alguno de los instrumentos hermanos del AstMon.

En Calar Alto, Almería, se encuentra CAHA, acrónimo del Centro de Astronomía Hispano-Alemán, y allí se cuenta con otro AstMon en funcionamiento constante<sup>16</sup>.

La situación de este observatorio, a una altura de unos 2168 metros en la Sierra de Los Filabres, es sensiblemente mejor en cuanto a la menor recepción de contaminación lumínica de origen terrestre.

Para hacerse una idea de las diferencias entre ambos cielos, en junio de 2011 se pidió a Jesús Aceituno, astrónomo de soporte en CAHA y diseñador del AstMon, una serie de imágenes procesadas por el AstMon-CAHA de una noche fotométrica para realizar una comparación sencilla entre ambos cielos.

Las imágenes recibidas son las siguientes:

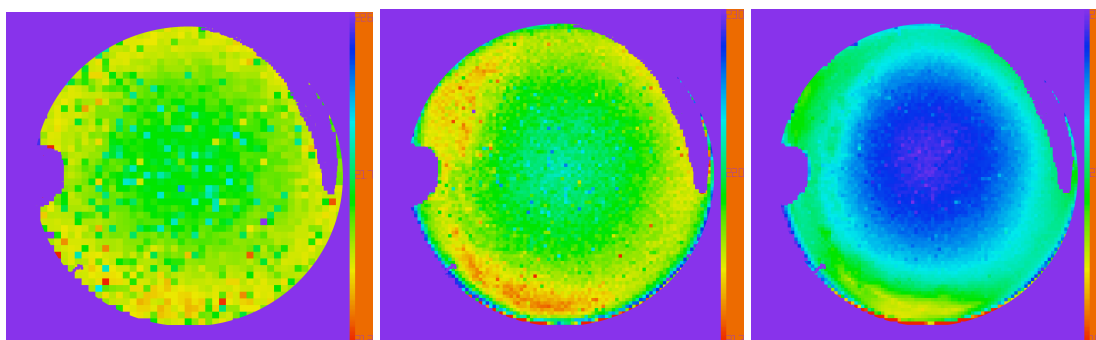


Figura 4.5. Imágenes procesadas por AstMon-CAHA a fecha del 20 de junio de 2011, 21:32 – 21:40 (UT). De izquierda a derecha: filtro U, filtro B y filtro V.

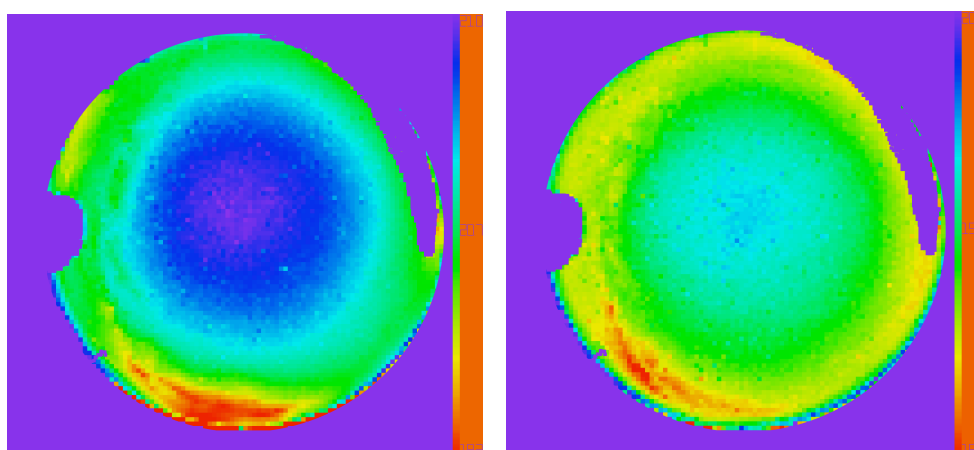


Figura 4.6. Imágenes procesadas por AstMon-CAHA a fecha del 20 de junio de 2011, 21:32 – 21:40 (UT). De izquierda a derecha: filtro R y filtro I.

<sup>16</sup> Sitio web de AstMon-CAHA: <http://www.caha.es/WDXI/ASTMON/>



Sólo observando la escala en que están estas imágenes procesadas de AstMon-CAHA ya se aprecia que la oscuridad de los cielos de Calar Alto es realmente superior a la de Madrid.

Desconocemos los valores medios de SB para Calar Alto a una amplia escala temporal, pero a grandes rasgos, los valores cenitales medios de las imágenes anteriores pueden ser suficientemente orientativos como para ofrecer las diferencias numéricas con los cielos de Madrid.

No es recomendable tomar valores medios de la imagen al completo (es decir, los valores medios de la escala anexa a cada imagen), ya que pueden estar sesgados por la presencia de nubes (muy brillantes), aumentando el límite inferior de magnitud y sesgando el valor medio hacia valores menores. De hecho es el caso de la serie de imágenes anteriores, en que se perciben nubes en la región Sur.

Comparando entonces valores cenitales medios de estas imágenes (fuera del alcance de las nubes de la zona Sur) con los valores medios típicos de SB de AstMon-UCM, se obtiene lo siguiente:

Filtro	AstMon-CAHA valores cenitales medios de SB de la muestra (mag/arcsec2)	AstMon-UCM valores medios típicos de SB (mag/arcsec2)	Diferencia entre AstMon-CAHA y AstMon-UCM (mag/arcsec2)
<b>U</b>	20.52	no hay datos	-
<b>B</b>	20.17	19.20	<b>0.97</b>
<b>V</b>	19.65	17.90	<b>1.75</b>
<b>R</b>	19.11	17.13	<b>1.98</b>
<b>I</b>	18.18	no hay datos	-

Tabla 4.3. Comparativa y diferencias aproximadas de SB de imágenes procesadas por AstMon-CAHA y la estadística realizada para AstMon-UCM.

No se puede afirmar que las diferencias halladas entre un sitio y otro sean estricta y constantemente las anotadas, pero si se estudian datos de AstMon-CAHA en un rango temporal suficientemente elevado y se comparan sus resultados con los obtenidos a largo plazo por el AstMon-UCM, se obtendrán los incrementos entre un sitio y otro con buena precisión.

Sin embargo, sí que puede afirmarse que estas diferencias aproximadas son orientativas, y sirven para mostrar que Calar Alto dispone de un cielo significativamente mejor que el de Madrid aun habiendo considerado de este último sus cifras óptimas.

Un artículo de interés al respecto es el elaborado por J.Aceituno, S.F.Sánchez, F. J. Aceituno, D. Galadí-Enríquez, J.J. Negro, R.C. Soriguer y G. Sánchez Gómez titulado *An All Sky Transmission Monitor: AstMon*, y que presenta una completa descripción del instrumento, una descripción metodológica del funcionamiento del mismo y una serie de resultados obtenidos en Calar Alto.

Algunos de sus resultados más destacados son los siguientes:

- presentan estudio de SB en cinco filtros de Johnson disponibles: U, B, V, R e I.

- ofrecen resultados de calibración de constantes fotométricas realizadas en la noche fotométrica del 1 de noviembre de 2009:

<b>Banda</b>	<b>Constante instrumental (Zero Points)</b>
U	$6.87 \pm 0.15$
B	$9.889 \pm 0.025$
V	$10.164 \pm 0.011$
R	$9.906 \pm 0.015$
I	$8.06 \pm 0.21$

- comparación entre coeficientes de extinción medidos por AstMon-CAHA y otros aparatos del CAHA:

<b>Band</b>	<b>Coef. Ext. - CAHA</b>	<b>Coef. Ext. - ASTMON</b>
B	$0.27 \pm 0.10$	$0.25 \pm 0.03$
V	$0.18 \pm 0.07$	$0.16 \pm 0.08$
I	$0.08 \pm 0.05$	$0.11 \pm 0.01$

Estos son algunos de los resultados, que vienen acompañados de diferentes conclusiones respecto a utilidad y bondad de los resultados obtenidos desde la primera calibración. Las referencias de este artículo pueden encontrarse en la sección Referencias.

#### 4.1.3. Variación del brillo de fondo de cielo con la Luna.

El AstMon-UCM tiene la opción de quedar deshabilitado mientras se detecte la Luna en la bóveda celeste durante el proceso de medida, y es que la Luna introduce una gran cantidad de contaminación lumínica en el brillo de fondo de cielo por lo que la consideración candidatos a noches fotométricas excluye las noches o momentos de la noche en que la Luna está por encima del horizonte.

Se han probado diferentes configuraciones del tiempo de exposición de la cámara a lo largo del año para ver si se podía minimizar el efecto de la Luna y tener imágenes de cierta calidad aun con su presencia.

Pero se ha comprobado que apenas unos pocos segundos provocan una desviación excesiva de los valores de brillo de fondo de cielo llegando incluso a la saturación de la imagen a partir de unos 6 segundos.

Las siguientes imágenes (sin procesar y procesada, en el filtro V), tomadas en la noche del día 17 de diciembre de 2010, cuando el astro estaba en fase creciente avanzada (aproximadamente al 80%) y a una altura de unos 30° aproximadamente, sirven como ejemplo para explicar la influencia de Luna en el brillo de fondo de cielo.

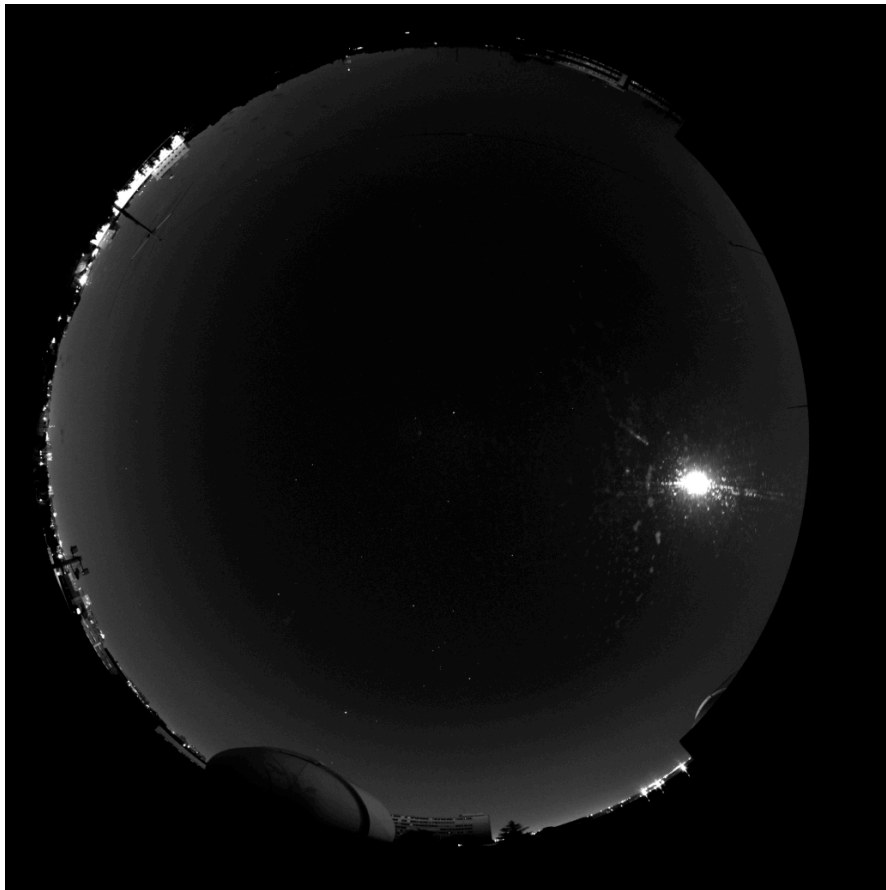


Figura 4.6. Imagen sin procesar. Filtro V. 17 de diciembre de 2010, a las 00:04 (UT).

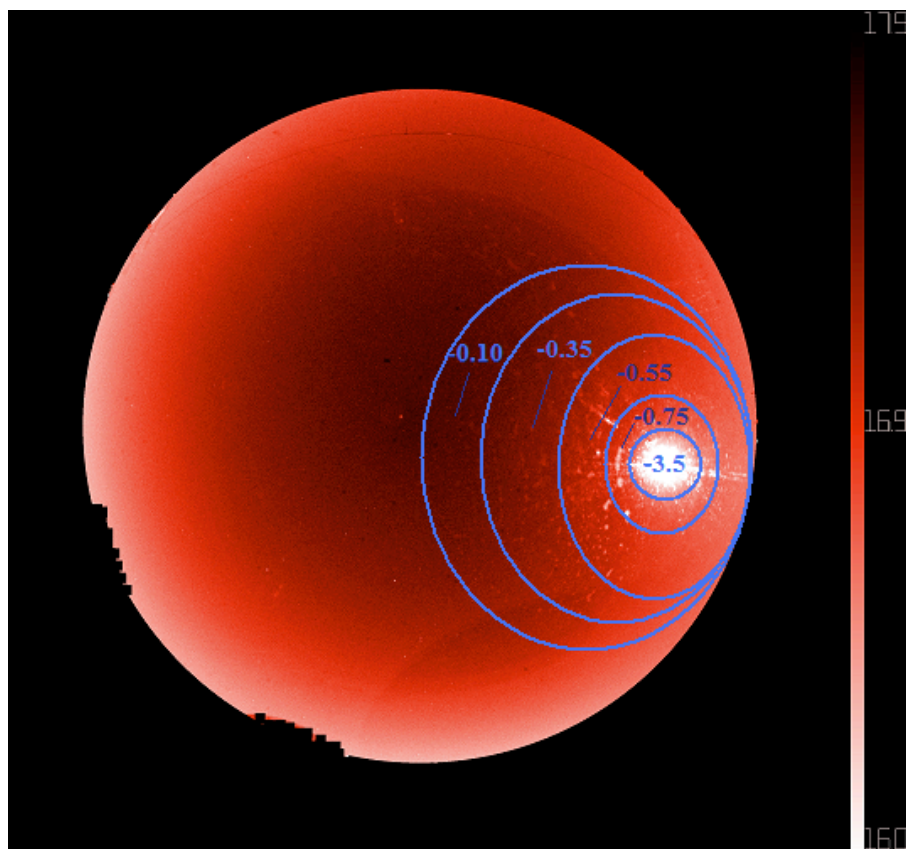


Figura 4.7. Imagen anterior tras ser procesada indicando los radios de cambio de magnitud respecto al valor del cénit.

El valor de SB en el cénit de la imagen procesada (filtro V) es de  $17.60 \pm 0.02$  mag/arcsec<sup>2</sup>.

Por otro lado, el valor medio de SB en la región correspondiente al disco lunar de  $14.13$  mag/arcsec<sup>2</sup>, es decir, aproximadamente  $3.5$  mag/arcsec<sup>2</sup> por debajo del más alto, el valor cenital. Los anillos en torno a la Luna contienen el incremento negativo que sufre el cielo desde el cénit hacia la propia Luna, es decir, cuanta magnitud se gana al acercarnos a la Luna respecto al valor más alto de la imagen en el cénit.

Es interesante estudiar la responsabilidad directa de este descenso por parte de la Luna y qué parte es causada por la contaminación lumínica terrestre.

Se puede hacer comparando la imagen estudiada en el apartado 4.1.1 en que se veía la variación de SB con la altura en una noche despejada y sin Luna, y contrastándolo con los valores en altura de la imagen anterior, con Luna.

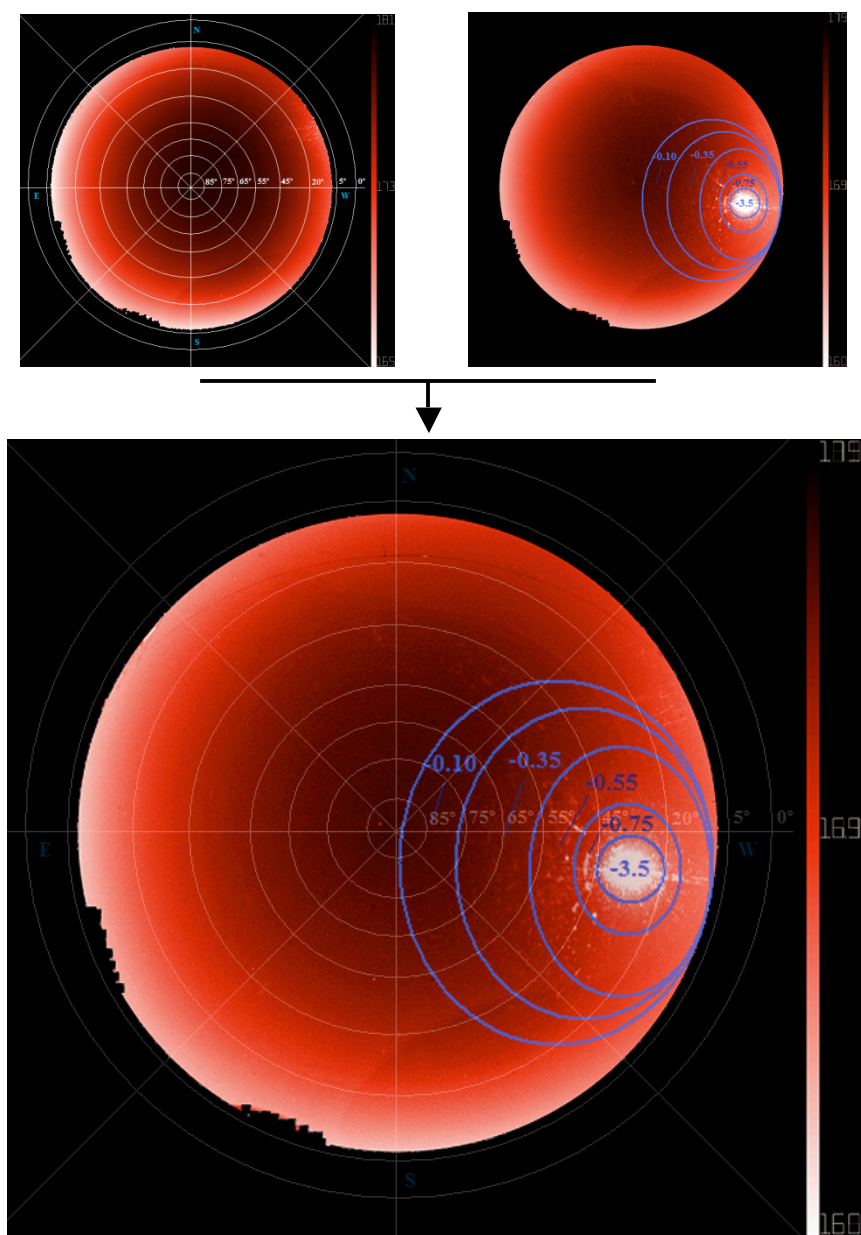


Figura 4.8. Composición de imagen procesada sin Luna (plantilla acimutal) y con Luna.

Podemos usar estas imágenes porque ambas pertenecen al filtro V y se ha comprobado que en toda la noche carecen de eventos atmosféricos importantes como nubes o lluvia.

Es coherente por tanto, pensar que el valor de SB en el cénit para la imagen sin Luna (ver punto 4.1.1: SB cénit = 18.00 mag/arcsec<sup>2</sup>) puede actuar como valor de referencia para la que tiene Luna.

Tal valor es prácticamente el asignado como valor medio típico en el filtro V (ver tabla 4.2.): SBmedio[V] = 17.90 ± 0.09 mag/arcsec<sup>2</sup>), por lo que con un error de 0.1 mag/arcsec<sup>2</sup> nos vale para sustraer la contaminación ejercida exclusivamente por la Luna.

La siguiente tabla refleja la comparativa entre ambas situaciones y la contribución real de la Luna. Se han promediado los valores de cada anillo de altura en ambas imágenes:

Anillo de altura	Sin Luna (magnitud media)	Con Luna (magnitud media)	Contribución real de la Luna (± 0.1 mag/arcsec <sup>2</sup> )
5° - 20°	16.75	16.60	<b>-0.15</b>
20° - 45°	17.50	<b>14.15</b> (Luna)	<b>-3.35</b>
45° - 50°	17.60	16.85	<b>-0.75</b>
50° - 55°	17.75	17.05	<b>-0.70</b>
55° - 75°	17.85	17.25	<b>-0.60</b>
75° - 85°	17.95	17.50	<b>-0.45</b>
85° - 90°	18.00	17.60	<b>-0.40</b>

Tabla 4.3. Contribución al descenso de magnitud de SB por parte de la Luna.

Sin contar el propio disco lunar, que hace disminuir en más de 3 magnitudes el brillo, se ve cómo la Luna afecta claramente las regiones en torno al cénit iluminando entre 0.40 ± 0.1 y 0.75 ± 0.1 mag/arcsec<sup>2</sup>.

Atendiendo a cómo afecta la Luna al brillo a medida que nos alejamos del disco lunar, es probable que su contribución al SB para las zonas cercanas al horizonte se sitúe en el mismo rango que la contaminación lumínica terrestre, es decir entre 0.4 y 1 mag/arcsec<sup>2</sup>, dependiendo de la altura en que se encuentre el astro, pero para una magnitud tan baja como la propia de los primeros 20° en altura, es difícil definir la contribución de cada una. En todo caso, el horizonte es una región que, en el caso del AstMon-UCM, está altamente contaminada y hace impracticable utilizarla para tomar medidas de objetos celestes.

#### 4.1.4. Influencia de nubes y aerosoles. Disminución de los valores de brillo de fondo de cielo.

En el caso de las nubes y aerosoles propios de la atmósfera, también se observan una serie de afectaciones a la medida de SB en cualquiera de los filtros.

- Nubes.

Son un evento atmosférico que obviamente afecta de forma radical a las medidas de brillo de fondo de cielo. Actúan en gran parte como espejo reflector de la luz proyectada desde la superficie y hacen imposible tomar medidas tanto en el óptico como en otras regiones del espectro electromagnético. En las imágenes puede verse claramente el gran aumento de luminosidad que provoca su presencia, cubran total o parcialmente la bóveda celeste.

La noche del 10 de noviembre de 2010 es una de las muchas en que quedó registrada nubosidad prácticamente durante todo el periodo de actividad del AstMon-UCM.

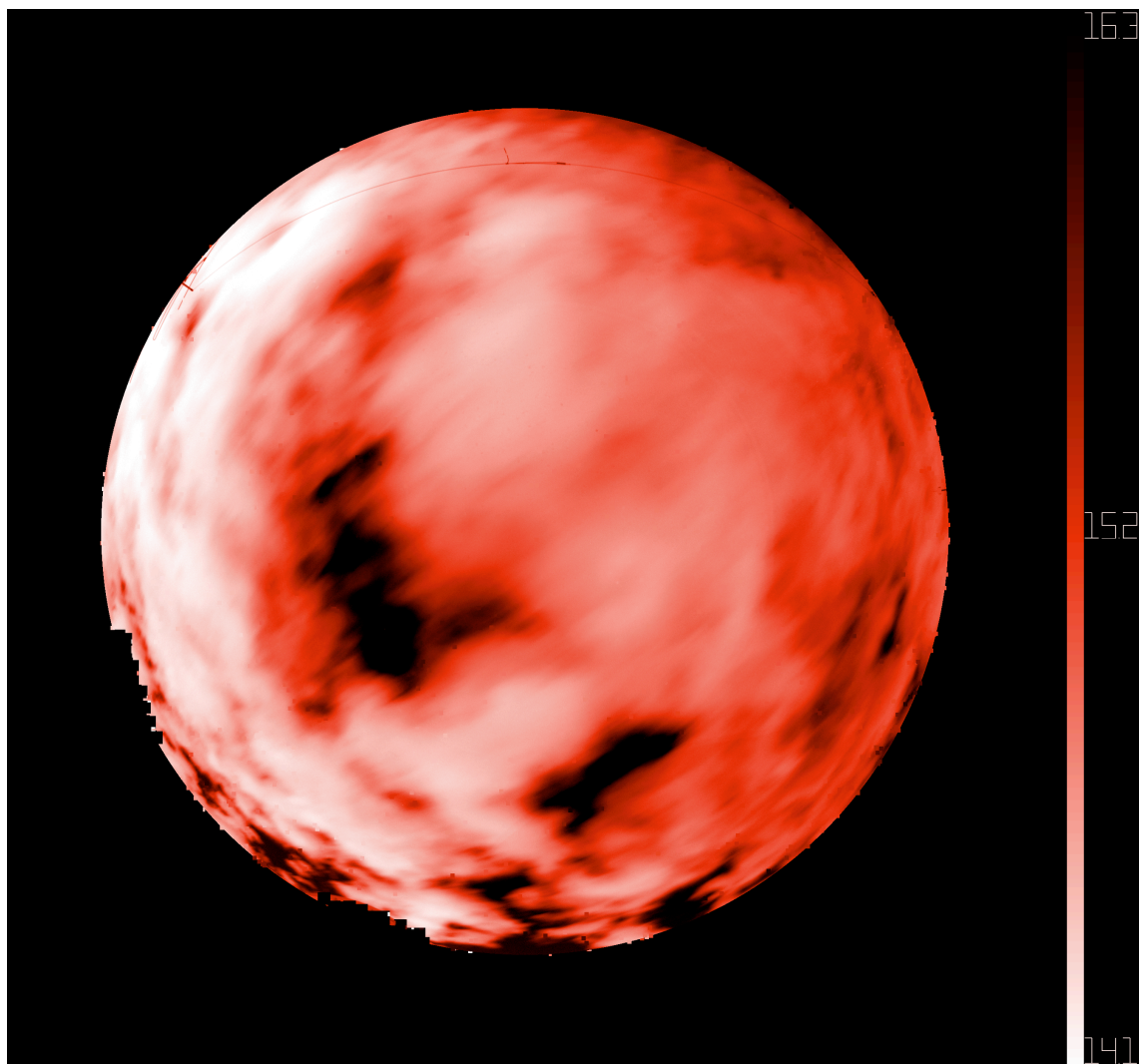


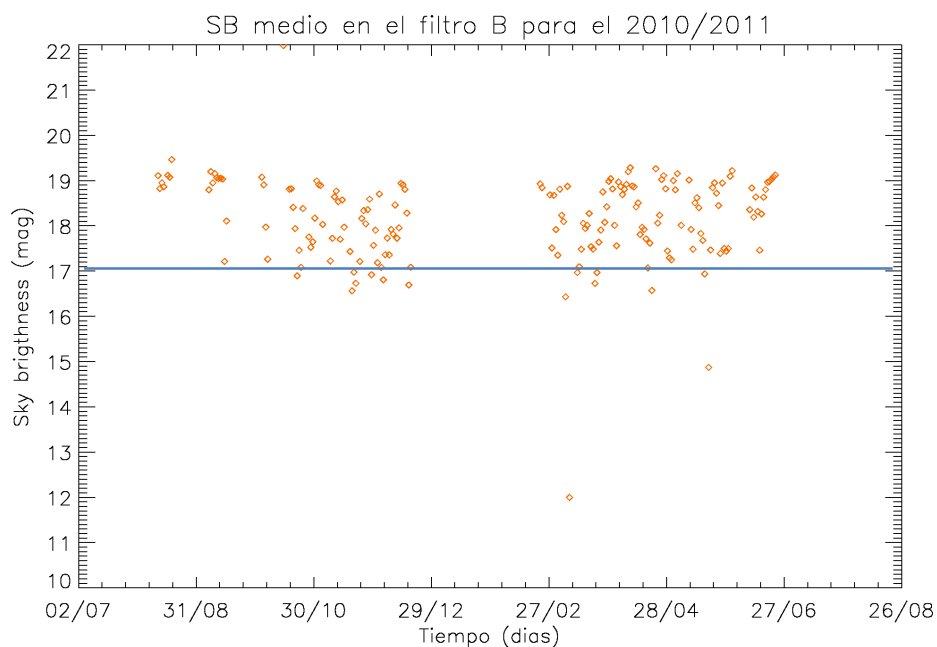
Figura 4.9. Nubosidad con claros. Imagen procesada del 10 de noviembre de 2010, 00.53 (UT). Filtro V.

Hay un primer análisis muy simple y contundente: sólo comparando la escala de magnitud anexa a la imagen (centrada en este caso en 15.2 mag/arcsec<sup>2</sup>) con el valor medio típico calculado para el filtro V, ya se percibe la gran influencia de las nubes sobre el brillo de fondo de cielo medio.

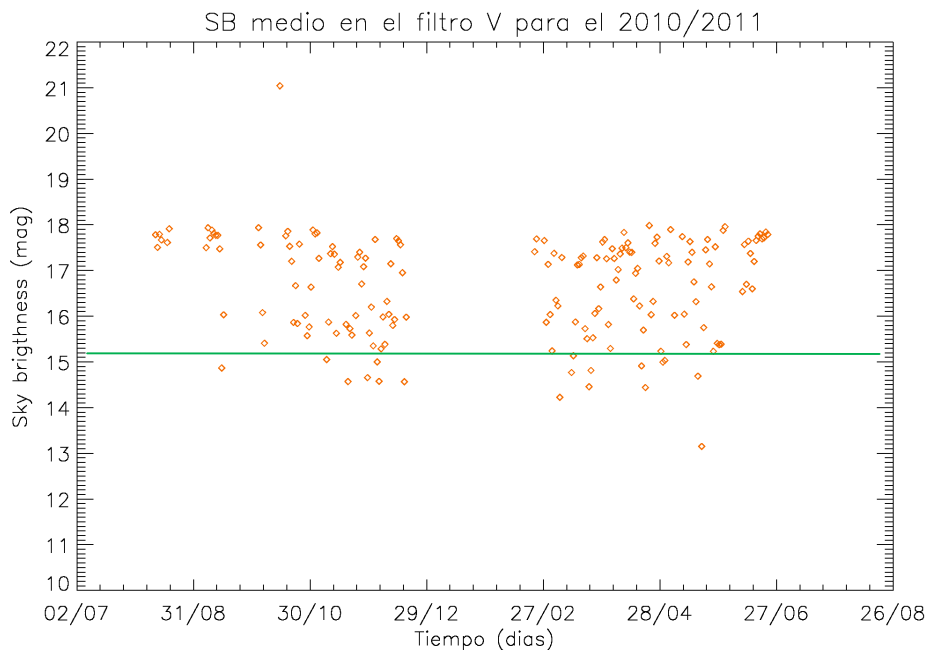


Se ha calculado que el valor medio típico en el filtro V es de 17.9 mag/arcsec<sup>2</sup>, mientras que en esta imagen, los puntos más oscuros (correspondientes a las zonas oscuras casi libres de nubes) sólo alcanzan un máximo de 16.3 mag/arcsec<sup>2</sup>, es decir, una diferencia de más de 1.5 mag/arcsec<sup>2</sup> en el caso óptimo. En el caso más extremo, las diferencias son aún mayores, pues los valores más brillantes se sitúan en torno a 14 mag/arcsec<sup>2</sup>, es decir, casi 4 mag/arcsec<sup>2</sup> por debajo de las condiciones fotométricas. Analizando la imagen en detalle, se ha realizado una estadística de la misma en que el valor medio de SB de esta imagen es de 14.98 mag/arcsec<sup>2</sup>, es decir, un brillo medio 3 magnitudes por debajo de las condiciones fotométricas.

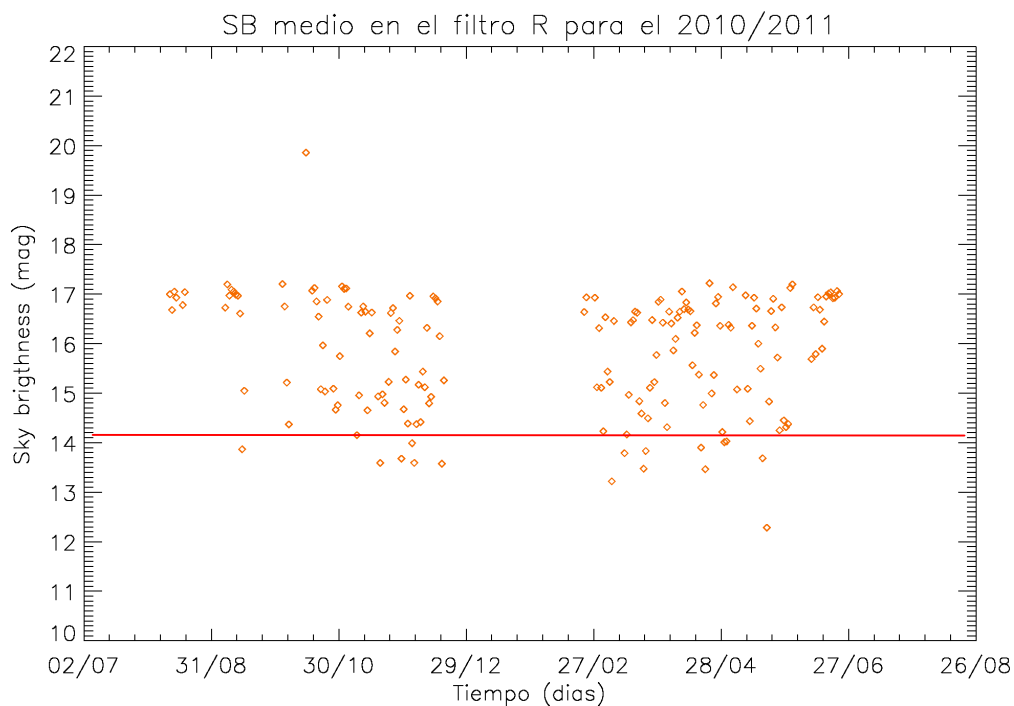
Analizando esta situación de modo general, se han vuelto a utilizar las gráficas de acumulación de datos de SB medio en los tres filtros para ver el valor medio típico de las noches nubosas y su diferencia con el valor medio típico de las noches fotométricas.



Gráfica 4.12. Brillo de fondo de cielo medio en noches nubosas. Filtro B. Agosto 2010 – Junio 2011.



Gráfica 4.13. Brillo de fondo de cielo medio en noches nubladas. Filtro V. Agosto 2010 – Junio 2011.



Gráfica 4.14. Brillo de fondo de cielo medio en noches nubladas. Filtro R. Agosto 2010 – Junio 2011.

Es asumible que las noches en que los valores medios de SB son muy bajos se deben, como se ha visto en el ejemplo, a la contribución de las nubes.

Para elaborar el valor medio típico de las noches nubladas, se ha seleccionado el 40% de los datos de valor de SB más bajo. Se han excluido los puntos deslocalizados pues se trata de errores en la toma de imágenes o excepcionales condiciones negativas como por ejemplo el enfoque directo de alguna fuente de luz no permanente.



Valor	Filtro		
	B	V	R
<i>Valor medio típico noches fotométricas (mag/arcsec<sup>2</sup>)</i>	19.20 ± 0.12	17.90 ± 0.09	17.13 ± 0.08
<i>Valor medio típico noches nubosas (mag/arcsec<sup>2</sup>)</i>	17.05 ± 0.31	14.21 ± 0.68	14.15 ± 0.77
<i>Aumento de brillo de fondo de cielo (mag/arcsec<sup>2</sup>)</i>	<b>2.15 ± 0.33</b>	<b>3.69 ± 0.68</b>	<b>2.98 ± 0.77</b>

Tabla 4.4. Variación media entre noches despejadas y noches nubosas.

Hay mucha dispersión en los valores medios de las noches nubosas pero este cálculo es orientativo así que asumiendo el mayor error posible (suma de ambos errores) para el aumento de brillo de fondo de cielo, se obtiene que las nubes pueden llegar a afectar como mucho entre 1.5 y 4.5 magnitudes dependiendo de las condiciones específicas. De una forma más aproximada, podría decirse que la influencia media de las nubes provoca la disminución de 2 ó 3 magnitudes en el brillo de fondo de cielo para cualquier filtro.

- Aerosoles.

En la atmósfera existe gran cantidad de este tipo de gases ricos en partículas sólidas o líquidas distribuidas heterogéneamente. Su origen puede ser natural o artificial (es decir, consecuencia de la acción humana) y a las diferentes partículas de los aerosoles se les conoce como PM (particulate matter). Algunos ejemplos de componentes típicos de los aerosoles son el mar (agua marina pulverizada), polvos minerales, orgánicos (Volatic Organic Compounds o VOC), etc.

Es difícil medir la contribución al SB por parte de los aerosoles debido a que una mezcla de gas y partículas en suspensión no es fácilmente detectable con este aparato. Podría interpretarse su influencia si se tuviera certeza de la presencia de aerosoles en fechas concretas y de forma continuada, pero se carece de tal información.

De las gráficas donde se acumulan los puntos de valor de SB medio no se puede obtener nada en claro pues no existe una distribución diferenciada, y si bien se sabe que las medidas de SB más alto pertenecen a las noches despejadas, las que quedan por debajo de tal media no siguen patrones que se puedan asociar a nada en concreto. La influencia de las nubes es comprobable debido a que son claramente visibles y diferenciables pero los aerosoles no lo son, por lo que se necesitaría una manera de identificar las noches o momentos con su presencia para poder obtener alguna conclusión al respecto.

Un estudio más exhaustivo sobre este tema que está fuera del alcance de este trabajo consistiría en detectar la cantidad presente de aerosoles con algún dispositivo preparado para ello, observar las relaciones entre los coeficientes de extinción entre las diferentes bandas ya que la extinción por aerosoles es más gris (menos dependiente de la longitud de onda) y obtener conclusiones numéricas respecto al brillo de fondo de cielo.

## 4.2. Extinción atmosférica. Estudio para el Observatorio UCM.

Un producto derivado del AstMon-UCM es la extinción atmosférica, que se define como la pérdida de información de la radiación electromagnética por dispersión o absorción de las partículas de la atmósfera.

El AstMon-UCM realiza un análisis de la extinción atmosférica en función de las estrellas que detecta y mide en cada imagen. Al realizar el barrido y la comparativa con un catálogo de estrellas que tiene incorporado, toda estrella visible o detectable queda analizada comparando la magnitud que se mide frente a la catalogada.

Las ecuaciones que relacionan el número de cuentas o flujo recibido con la extinción, la posición (definida por la masa de aire o secante del ángulo cenital) y la magnitud de la estrella son las siguientes:

$$m_{\lambda} = m_{\lambda_0} + K_{\lambda} \cdot \sec(z) \quad [4.1]$$

$$m_{\lambda} = C - 2.5 \log F(c/s) \quad [4.2]$$

donde  $m_{\lambda}$  es la magnitud observada,  $m_{\lambda_0}$  es la magnitud tabulada,  $K_{\lambda}$  es el coeficiente de extinción,  $\sec(z)$  es la masa de aire o secante del ángulo cenital,  $C$  es la constante instrumental y  $F$  es el flujo fotométrico medido en cuentas por segundo. Todo ello aplicado según la banda o filtro utilizado.

Cualquier estrella visible ha sido seguida por el aparato a lo largo de estos meses, por lo que se posee una valiosa colección de parámetros que a modo de catálogo pueden ser de gran ayuda. Después de cada medida, el AstMon-UCM ofrece un fichero acumulando todas las estrellas capturadas y analizadas en la imagen. Por tanto, el volumen de datos que se maneja es también enorme en este caso.

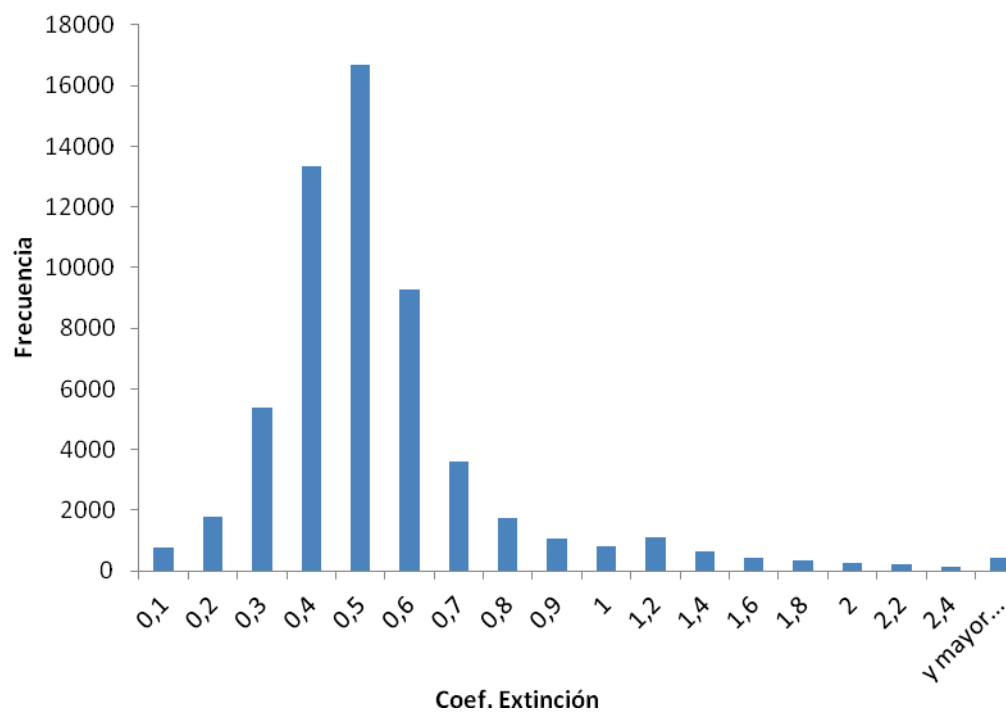
### 4.2.1. Estudio de la extinción atmosférica a largo plazo.

Como se ha dicho, se sabe que el valor de extinción atmosférica varía a lo largo de la noche para cada estrella, siempre y cuando éstas sean detectadas por el AstMon-UCM.

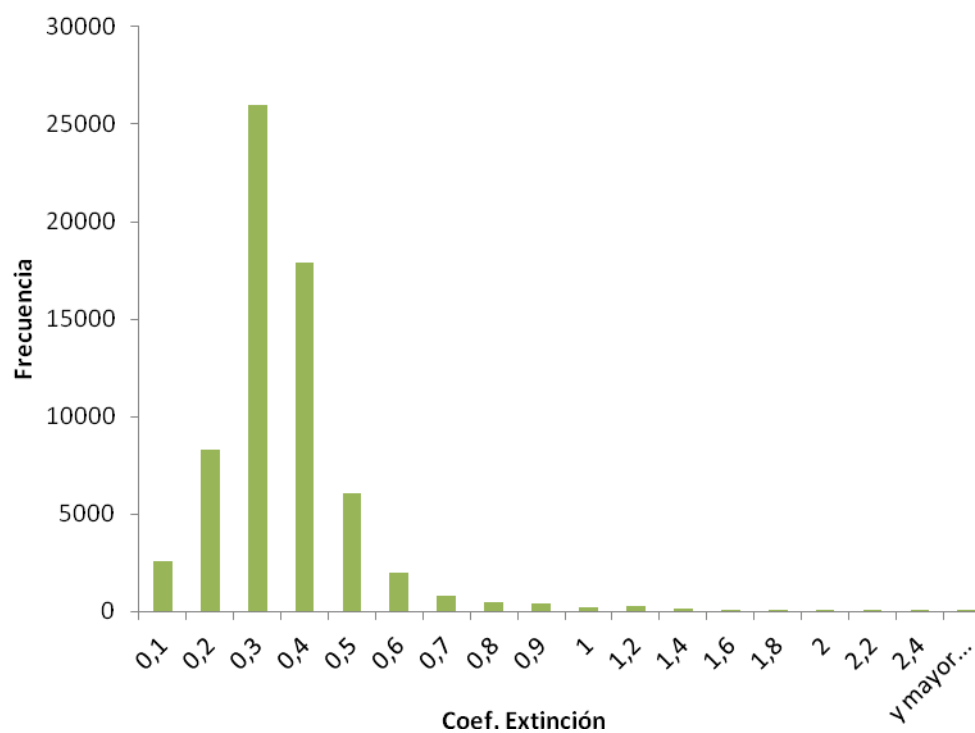
Unitariamente, una estrella puede ser estudiada en el tiempo y sacar conclusiones individuales y de respuesta del aparato; pero para todas ellas, es más interesante estudiar la tendencia de los valores del coeficiente de extinción para el Observatorio UCM.

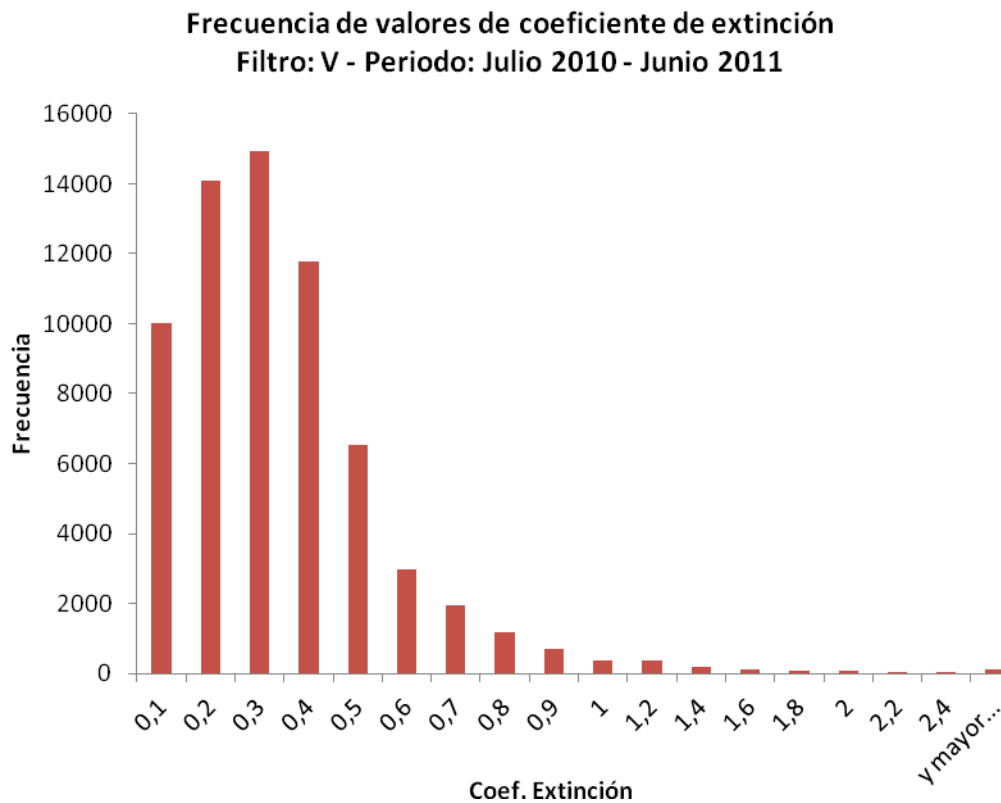
Para este estudio se han realizado histogramas en donde se puede ver la tendencia del coeficiente de extinción a lo largo del periodo de funcionamiento estudiado, desde julio de 2010 hasta junio de 2011. Los histogramas proporcionan una idea orientativa de cuál puede ser el rango de coeficientes de extinción más frecuentes.

**Frecuencia de valores de coeficiente de extinción**  
**Filtro: B - Periodo: Julio 2010 - Junio 2011**



**Frecuencia de valores de coeficiente de extinción**  
**Filtro: V - Periodo: Julio 2010 - Junio 2011**





Gráficas 4.15, 4.16 y 4.17. Histogramas para los filtros B, V y R de los coeficientes de extinción a lo largo del periodo desde julio de 2010 a junio de 2011.

La tendencia en el filtro B es de un coeficiente de extinción algo superior al encontrado en las bandas V y R.

Los rangos de extinción más frecuentes para cada una de las bandas son los siguientes:

<b><i>Filtro B – <math>K_x \in [0.4, 0.5]</math></i></b>
<b><i>Filtro V – <math>K_x \in [0.2, 0.4]</math></i></b>
<b><i>Filtro R – <math>K_x \in [0.2, 0.4]</math></i></b>

Tabla 4.5. Rango de valores típicos de coeficientes de extinción en cada banda para el Observatorio UCM.

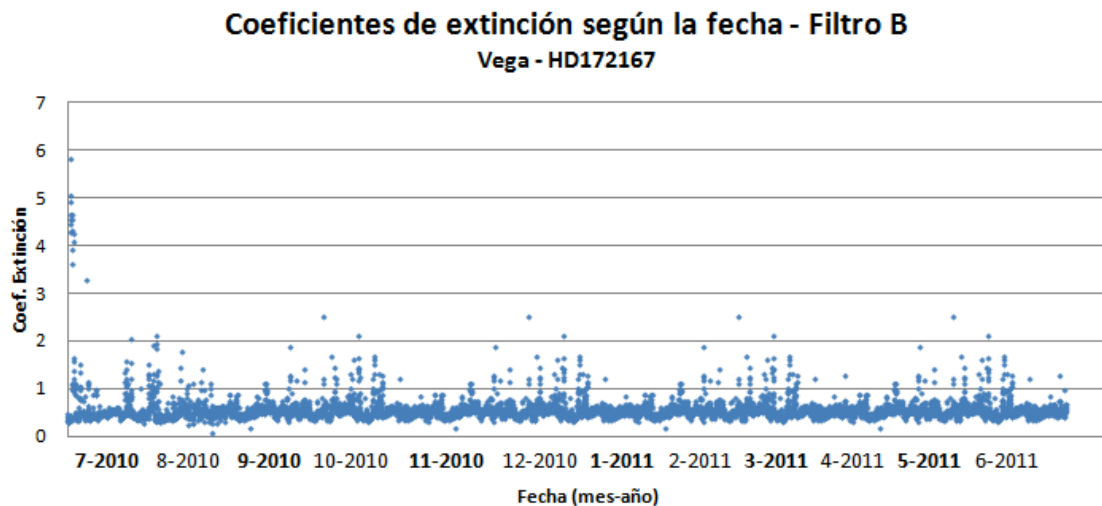
#### 4.2.2. Estudio a largo plazo de la extinción atmosférica según la fecha para una estrella: Vega – HD172167.

Una vez estudiada alguna imagen individual en un momento concreto de una noche despejada, el análisis se ha centrado ahora en el estudio a largo plazo de una estrella. La elección de Vega (ó HD172167 en el catálogo Henry Draper que usa el AstMon-UCM para identificar estrellas) se debe a que el AstMon-UCM ha conseguido detectarla

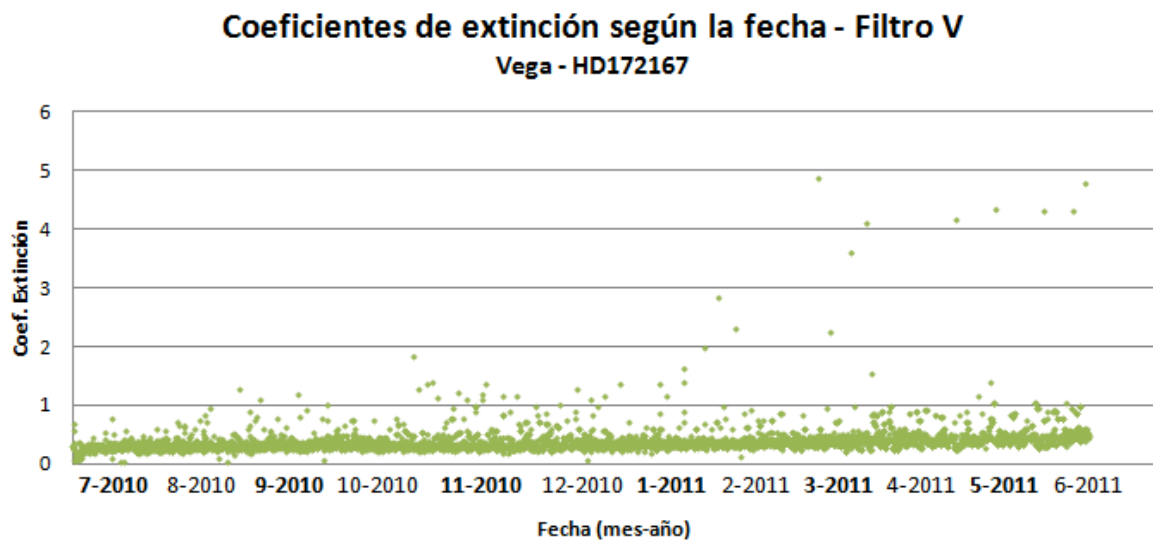
fácilmente y acumular una gran cantidad de datos de ella. Esto se ha debido a dos factores: su baja magnitud y su elevada posición<sup>17</sup>.

A continuación se presentan las tres gráficas (una por filtro) que muestran el coeficiente de extinción de la estrella frente a la altura donde fue detectada a lo largo de casi el año de funcionamiento del AstMon-UCM.

Con ellas se pretende observar, por un lado, si existe alguna tendencia del coeficiente de extinción a largo plazo y por otro, qué criterios se pueden seguir para afinar el cálculo de un coeficiente de extinción representativo del Observatorio UCM.

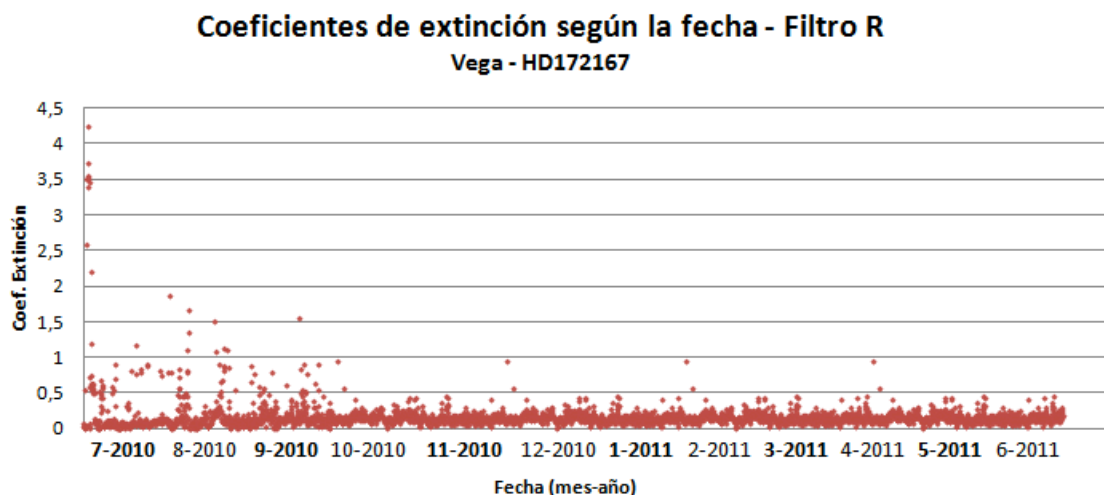


Gráfica 4.18. Coeficientes de extinción frente a la fecha para Vega. Filtro B.



Gráfica 4.19. Coeficientes de extinción frente a la fecha para Vega. Filtro V.

<sup>17</sup> Datos de precisión y otros nombres de la estrella pueden ser encontrados en cualquiera de los servicios astronómicos de la web de CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg). <http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/bibobj?2002A%26A...383..227E&HD+172167>



Gráfica 4.20. Coeficientes de extinción frente a la fecha para Vega. Filtro R.

En cada una de las tres gráficas se aprecia una cierta tendencia en las medidas del coeficiente de extinción al igual que una muy clara dispersión de una pequeña parte de los valores, que llegan a superar hasta en un factor 10 los valores de tal tendencia. De estos últimos valores puede prescindirse por su escasa representatividad (menos de un 5% del total para cualquier banda).

El criterio de eliminación y aceptación del rango de valores típicos es el siguiente: eliminar todos aquellos valores de coeficientes de extinción superiores a 2 y los correspondientes a estrellas detectadas a menos de  $20^\circ$ , y asumir como el rango de valores típicos los intervalos más frecuentes obtenidos en los histogramas anteriores.

Al comparar los valores típicos con el estudio hecho con Vega, se comprueba que las estimaciones realizadas coinciden con un ejemplo de seguimiento a largo plazo como el de la estrella:

Filtro	Rango orientativo de coeficientes de extinción experimentales	Tendencia del coeficiente de extinción de Vega
<b>B</b>	0.4 – 0.5	$0.5 \pm 0.1$
<b>V</b>	0.2 – 0.4	$0.3 \pm 0.1$
<b>R</b>	0.2 – 0.4	$0.2 \pm 0.1$

Tabla 4.6. Comparativa entre el rango de coeficientes de extinción experimental obtenido y los resultados del estudio de Vega.

Es decir, que el rango de valores propuesto para los coeficientes de extinción del Observatorio UCM en esas bandas parece verse sustentado con estudios a largo plazo como el realizado en este trabajo con Vega.

#### 4.2.3. Constantes fotométricas del AstMon-UCM.

La extinción atmosférica nos permite calcular una serie de parámetros que pueden ser útiles a nivel de todo el Observatorio UCM. Son las constantes fotométricas o instrumentales, propias de cada banda o filtro utilizado, y presentes en las ecuaciones [4.1] y [4.2] que relacionan el flujo de cuentas con la magnitud del objeto estudiado:

$$\left. \begin{aligned} m_{\lambda} &= m_{\lambda_0} + K_{\lambda} \cdot \sec(z) \\ m_{\lambda} &= C - 2.5 \log F(c/s) \end{aligned} \right\} \rightarrow \\
 m_{\lambda_0} + K_{\lambda} \cdot \sec(z) &= C - 2.5 \log F(c/s) \rightarrow \\
 m_{\lambda_0} + 2.5 \log F(c/s) &= C - K_{\lambda} \cdot \sec(z) \quad [4.3]$$

recordando que  $m_{\lambda_0}$  es la magnitud tabulada,  $K_{\lambda}$  es el coeficiente de extinción,  $\sec(z)$  la masa de aire o secante del ángulo cenital,  $C$  la constante instrumental y  $F$  el flujo de cuentas, medido en cuentas por segundo. Es decir, que a través de la ecuación [4.3] pueden obtenerse los valores de la constante instrumental en cada filtro y ser usados como valores de referencia para el Observatorio UCM.

Sin embargo, para conseguir mayor precisión, sobre la ecuación [4.3] se ha realizado una *corrección de color* para cada estrella medida. Consiste en trabajar con la misma ecuación pero añadiendo la contribución del término de color tal que posibles desviaciones debidas a este parámetro desaparezcan y aumente la precisión del ajuste.

La calidad de los resultados dependerá de la propia calidad de la noche/s elegida/s, y el interés radica en elegirlas fotométricas, es decir, de interés astronómico.

En la sección 4.1.2 se ha comentado que parece difícil encontrar noches fotométricas siguiendo el criterio del ajuste de la recta de Bouguer, en que para tales noches, el coeficiente de extinción debe tener poca dispersión para las diferentes estrellas analizadas. Una prueba de tal dificultad es, a fecha de septiembre de 2011, la ausencia de un fichero de texto que crea el AstMon cuando encuentra las condiciones necesarias para redefinir los valores de las constantes instrumentales, y que se crea cuando el coeficiente de correlación del ajuste de la recta de Bouguer resulta de 0.96 o superior. Es decir, que el criterio automático que usa el instrumento para definir noches fotométricas no ha detectado, en todo el tiempo de uso en la UCM, las condiciones necesarias como para redefinir las constantes instrumentales.

Se han analizado varias estrellas a diferentes alturas en imágenes de una noche candidata a ser fotométrica para comprobar manualmente el resultado del ajuste de la recta de Bouguer. Se ha intentado buscar siempre las mismas estrellas para cada imagen pero en ocasiones no se han encontrado datos en los ficheros de extinción proporcionados por el AstMon-UCM (es decir, la estrella no fue detectada en ese momento de medición) por lo que la lista es larga. En todo caso, se ha buscado siempre estrellas de fácil localización y para obtener información de apoyo se ha recurrido tanto a software de planetario virtual como el Stellarium<sup>18</sup>, y a la base de datos del CDS y los catálogos allí disponibles<sup>19</sup>.

Los resultados de los ajustes se muestran a continuación en tres gráficas, una para cada filtro analizado.

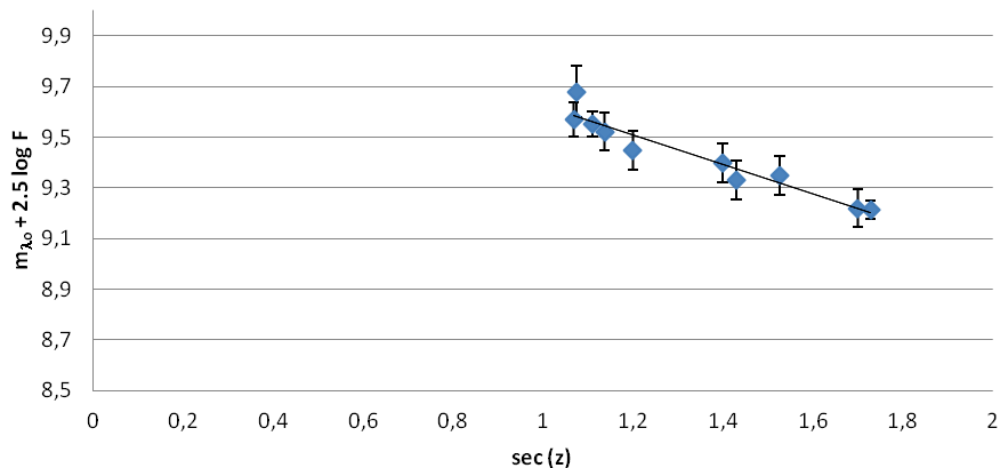
<sup>18</sup> Planetario Virtual Stellarium - <http://www.stellarium.org/es/>

<sup>19</sup> Centre de Données astronomiques de Strasbourg - <http://cdsweb.u-strasbg.fr/>

### Recta de Bouguer - Filtro B

$$y = -0,5818x + 10,207$$

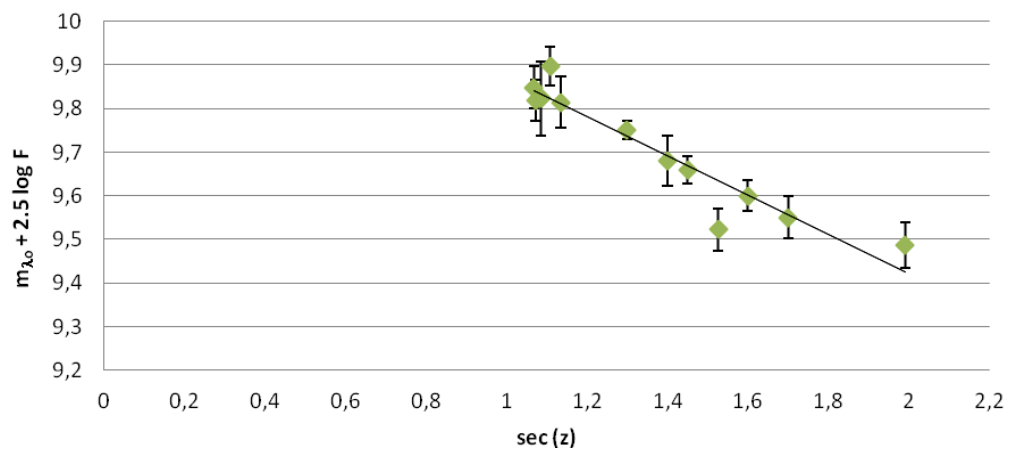
$$R^2 = 0,9206$$



### Recta de Bouguer - Filtro V

$$y = -0,4484x + 10,319$$

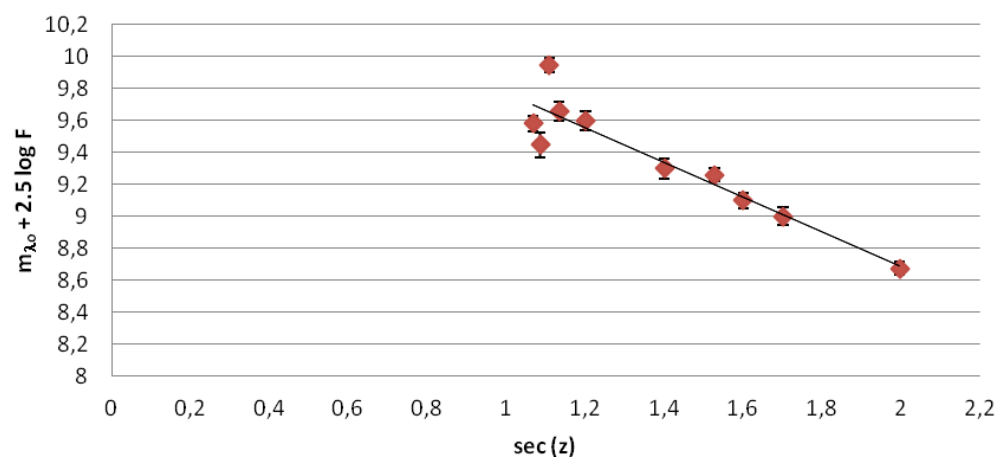
$$R^2 = 0,8944$$



### Recta de Bouguer - Filtro R

$$y = -1,0865x + 10,859$$

$$R^2 = 0,8688$$



Gráficas 4.21, 4.22 y 4.23. Ajuste y ecuación de las rectas de Bouguer para cada filtro. Datos del 14 de septiembre de 2010, 23:51 – 23:54 (UT)



De cada ajuste se obtienen las constantes fotométricas y el coeficiente de extinción, además del coeficiente de correlación que indicará la fiabilidad del ajuste. Para este caso:

Filtro	Coeficiente de Extinción	Constante instrumental (C ó ZP)	Coeficiente de correlación $R^2$
<b>B</b>	0.58	10.207	0.92
<b>V</b>	0.45	10.319	0.89
<b>R</b>	1.09 <sup>20</sup>	10.859	0.87

Tabla 4.7. Resultados de los ajustes.

Aunque en este caso la correlación es bastante buena en todos los casos, se debe incidir en que en el caso de la banda B, la transparencia de los diferentes componentes del AstMon en esta banda no es óptima, y se tiende a perder más señal en ella. La consecuencia directa es que las medidas suelen tener más dispersión y devolver resultados menos precisos. El coeficiente de correlación del ajuste en la banda B es sin embargo elevado, lo cual hace pensar que la detección del AstMon-UCM es suficientemente sensible a tiempos de exposición largos (en este caso es de 40 segundos) como para contrarrestar deficiencias.

Ha sido necesario introducir una corrección de color para mejorar el ajuste de estas rectas, y es que valores de estrellas cercanas al valor de masa de aire:  $\sec(z) \cong 1.1$  tenían una dispersión demasiado elevada. El término de corrección de color introducido en el segundo miembro de la ecuación [4.3] es un factor “ $-K_x^2 \cdot \sec(z)$ ”.

Respecto a las constantes instrumentales, podemos comparar las obtenidas en estas gráficas con las que actualmente (6 de septiembre de 2011) maneja el AstMon-UCM:

Filtro	Cte. Instrumental experimental	Cte. Instrumental del AstMon-UCM	Error
<b>B</b>	10.21	9.68	<b>5.2 %</b>
<b>V</b>	10.32	10.09	<b>2.3 %</b>
<b>R</b>	10.86	9.91	<b>8.7 %</b>

Tabla 4.8. Comparativa entre los resultados de los ajustes y los parámetros actuales del AstMon-UCM.

Errores de menos del 9% indican que, aun teniendo ajustes de no demasiadas estrellas y a priori correlacionados en un buen grado (también mejorable), la precisión con que se pueden calcular las constantes instrumentales C (ó Zero Points, ZP) a través de demás imágenes recogidas por el AstMon-UCM, puede llegar a ser muy elevada.

<sup>20</sup> "Los valores obtenidos para los coeficientes de extinción a través de estas rectas pretenden ser una comprobación orientativa para comprobar los valores esperados (ver Tabla 4.6). Sin embargo, al analizar la recta obtenida en el caso de la banda R, se aprecia un valor claramente superior. Esta diferencia puede deberse a que la muestra con que se ha realizado el ajuste es insuficientemente significativa. Por tanto, en el caso de desear calcular manualmente el coeficiente de extinción, es recomendable disponer de una muestra de estrellas mayor, teniendo en cuenta que el rango angular óptimo se sitúa por encima de unos 30° en altura, donde la aproximación plano-paralela del cálculo de Bouguer es válida."

### 4.3. Aplicación del AstMon en el proyecto CTA de GAE-UCM.

Las tareas asignadas al principio de este Trabajo Académicamente Dirigido consistían básicamente en la puesta en marcha de AstMon-UCM, la mejora de sus procesos y el análisis de los datos obtenidos. Adicionalmente se han incorporado otras tareas interesantes que se han abordado y se han descubierto posibilidades de estudios científicos muy interesantes que deberán ser realizados en un futuro.

El Grupo de Altas Energías de la UCM participa en el proyecto CTA (ver Referencias) que necesita caracterización de lugares que pueden ser obtenidos mediante los instrumentos y técnicas descritos en esta memoria.

Se describen a continuación el grupo de trabajo, el proyecto y los resultados preliminares obtenidos hasta el momento para la aplicación del AstMon en el proyecto CTA.

El Grupo de Física de Altas Energías de la Universidad Complutense de Madrid (GAE-UCM, Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear) se encarga de investigar los procesos más energéticos del universo a través de la detección y estudio partículas de alta energía y su generación en escenarios de alto interés astrofísico como agujeros negros, púlsares, supernovas, etc. Su trabajo se centra principalmente en la detección y análisis de rayos cósmicos de alta energía y rayos gamma.



El proyecto CTA (Cherenkov Telescope Array o Matriz de Telescopios Cherenkov) es una iniciativa internacional que pretende construir una nueva generación de telescopios terrestres de detección de partículas de alta energía que mejoren los actuales (MAGIC, HESS, VERITAS...).



Actualmente el proyecto CTA está en su etapa preparatoria (que durará hasta 2013), y el emplazamiento de los futuros telescopios es el tema principal a día de hoy.

GAE-UCM es participante activo en tal proyecto y a través del contacto entre algunos de sus responsables y el Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera se decidió aprender a utilizar el AstMon-UCM para proponer adquirir un aparato gemelo para el proyecto CTA y llevarlo a su emplazamiento definitivo. El objetivo de situar un AstMon en la localización de CTA sería complementar el proyecto ofreciendo los valores de brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica en el rango útil de los telescopios Cherenkov, situado en el ultravioleta.

Los filtros del AstMon-UCM son los de Johnson-Cousins B, V y R. Ninguno de ellos está en la región ultravioleta, así que era necesario estudiar la incorporación de un nuevo filtro en ese rango: el filtro U. Antes de llegar a ser instalado, la empresa diseñadora del AstMon-UCM, iTec Astronómica S.L., realizó una serie de pruebas en diciembre de 2010 con ese filtro en el AstMon del Observatorio de Calar Alto (CAHA) y las conclusiones preliminares fueron las siguientes:

- el valor de la señal en el filtro U es bajo, así que el ruido de la cámara y los rayos cósmicos, difíciles de eliminar, afectan notablemente a las medidas;

- el problema anterior puede ser compensado con una estadística suficientemente grande, es decir, tomando medidas sobre una amplia región del cielo, lo cual no representa un inconveniente en principio;
- la posible sustitución de la cúpula de metacrilato, la óptica y la CCD por sendos componentes con transparencia superior en el filtro U mejoraría en parte la recepción de señal en tal banda, especialmente para el brillo de fondo de cielo.

Estos resultados preliminares permiten ver que para proponer definitivamente el AstMon como aparato de medida de SB y extinción del proyecto CTA se necesita un estudio físico en mayor profundidad así como de tiempo para llevarlo a cabo. Por tanto, este objetivo ha quedado pospuesto para futuros proyectos con AstMon.

#### 4.4. Estudio comparativo de brillo de fondo de cielo entre AstMon-UCM y SQM.

Existe un proyecto que se está llevando a cabo desde hace varios años por parte del Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera y cuyo objetivo es el de crear mapas de contaminación lumínica mediante la utilización de aparatos llamados SQM, Sky Quality Meter, o medidores de calidad del cielo. En concreto se cuenta con 12 aparatos modelo SQM-L, un modelo SQM-LU y otro SQM-LE<sup>21</sup>. Estos aparatos miden en torno a un cono de unos 10° de radio de base según la dirección en la que se apunte, y dado que la región cenital es la más oscura y fácil de orientar, todas sus medidas se han realizado en tal dirección. A continuación, se ha realizado un análisis comparativo de los resultados del AstMon-UCM con los obtenidos por los SQM.

- Fechas de toma de datos compartidas por los SQM y AstMon-UCM.

En los últimos meses, los SQM han pasado por una etapa de calibración (crucial para la correcta interpretación de los datos) y en ocasiones, se han realizado sesiones de toma de medidas con ellos.

Las sesiones con los SQM han sido llevadas a cabo en las fechas siguientes del año 2011 (la hora está en tiempo universal, UT, al igual que el reloj del AstMon-UCM):

<b>28 de febrero</b>	–	<b>de 19:45 a 20:25 y de 20:42 a 21:05</b>
6 de abril	–	de 05:00 a 06:00
<b>28 de abril</b>	–	<b>de 01:40 a 02:05</b>
2 de junio	–	de 01:20 a 03:05

Tabla 4.9. Campañas de observación conjuntas SQM- AstMon-UCM.

Se tienen datos en el AstMon-UCM para las fechas marcadas en negrita, los días 28 de febrero y 28 de abril. Para las otras fechas, coincide que el AstMon-UCM no estuvo

<sup>21</sup> Más información de los Sky Quality Meter – UNIHEDRON puede encontrarse en:  
 Modelo SQM-L - <http://unihedron.com/projects/sqm-l/>  
 Modelo SQM-LE: <http://unihedron.com/projects/sqm-le/>  
 Modelo SQM-LU - <http://unihedron.com/projects/sqm-lu/>

disponible debido a un error que se produjo en abril en el hub de transmisión de datos, y en junio, debido a una actualización de la versión de software de control que no funcionó correctamente.

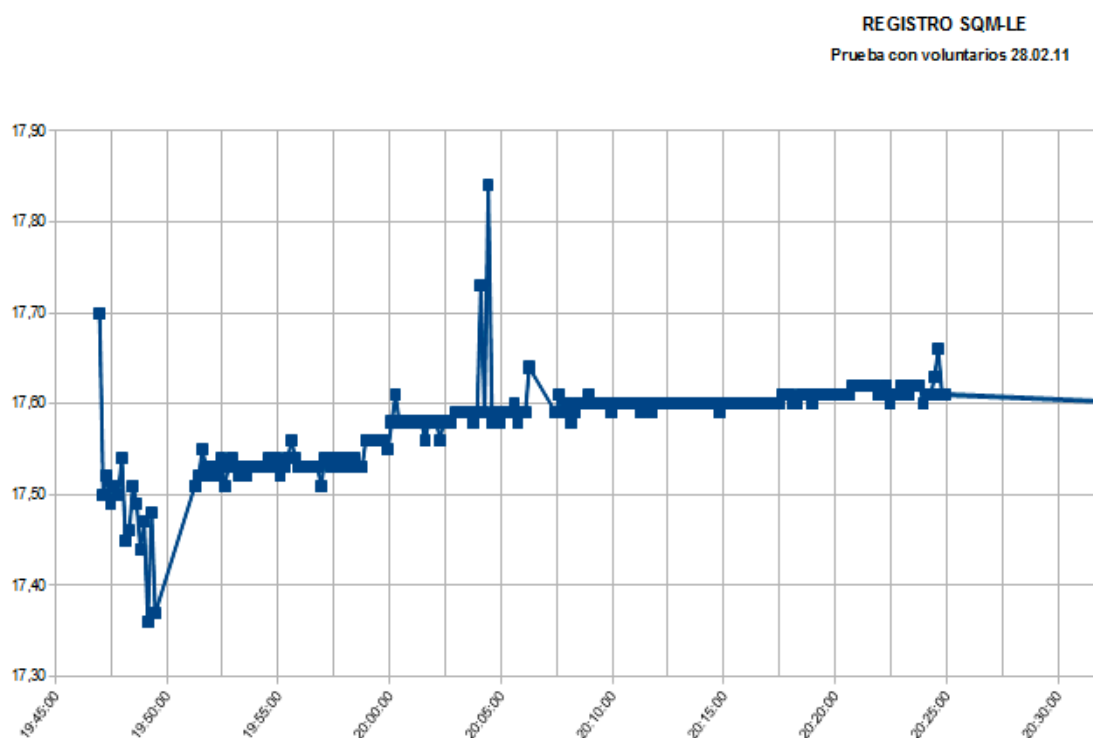
- Análisis comparativo según la fecha.

**a) 28 de febrero de 2011. Hora: de 19:45 a 20:25 y de 20:42 a 21:05 (UT)**

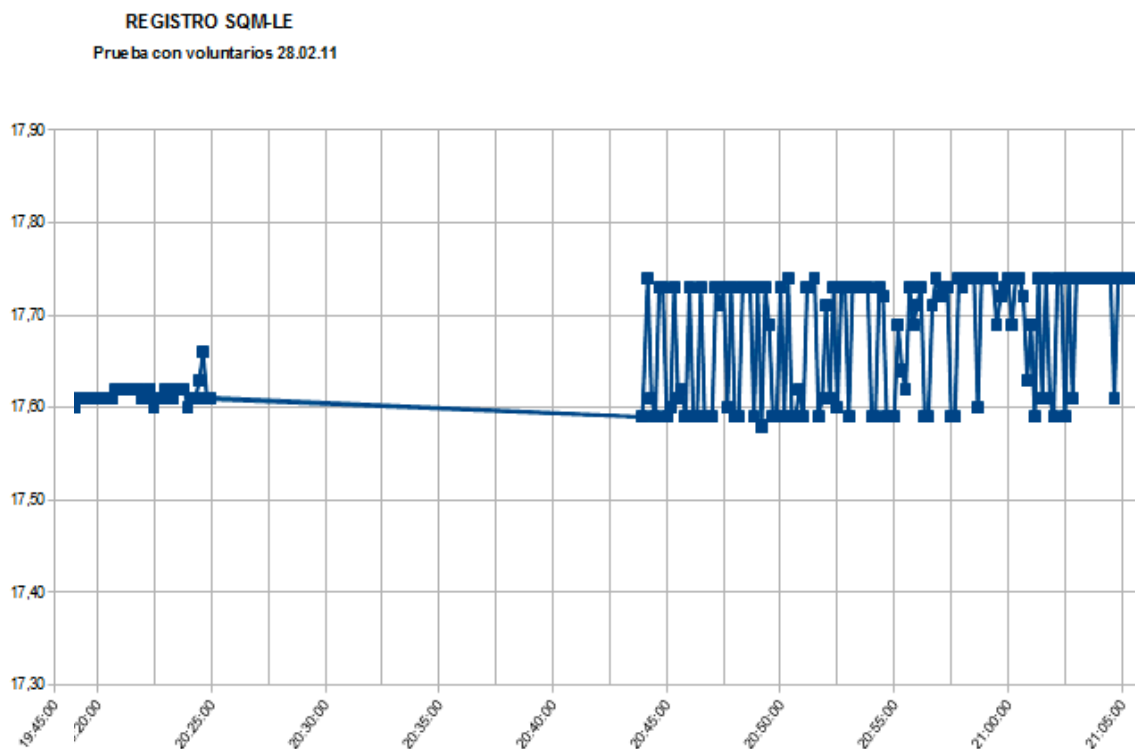
Para poder ofrecer resultados conjuntos, en la noche del 28 de febrero de 2011 se mantuvo encendido el AstMon-UCM a propósito durante la realización de unas medidas llevadas a cabo por varios voluntarios, alumnos de la Facultad, bajo la dirección de Roque Ruiz Carmona, que en ese momento era el responsable del proyecto de los SQM.

Con el SQM-LE (conectado a un ordenador por un cable de red) y todos los SQM-L (instrumentos personales y portátiles, sin conexión directa a un ordenador) se tomaron dos series de medidas cenitales. Una primera serie de 19:47 a 20:25 UT, y la segunda de 20:43 a 21:06 UT.

La siguiente gráfica corresponde a las medidas de SQM-LE en los dos periodos, de ahí que se observe un intervalo con ausencia de datos.



Gráfica 4.24. Parte 1. Resultados de las medidas con SMQ-LE (mag) frente al tiempo. 28 de febrero de 2011.



Gráfica 4.25. Parte 2. Resultados de las medidas con SQM-LE (mag) frente al tiempo. 28 de febrero de 2011.

La primera serie de medidas (Parte 1) tiene un perfil ligeramente ascendente pero estable en torno a 17.6 mag/arcsec<sup>2</sup>. La segunda serie (Parte 2), sin embargo, da un perfil de medidas inesperado, con aproximadamente la mitad de los valores en la media anterior y el resto situados 0.12 mag/arcsec<sup>2</sup> por encima. La desviación típica de la muestra está en torno a 0.05 mag/arcsec<sup>2</sup>, significativamente menor que la distancia entre unos datos que deberían haber sido mucho menos dispersos ya que la situación y condiciones del instrumento no fue alterada, así que no hay razón aparente para este cambio. Por tanto, desde ese momento, se consideró que el SQM-LE había dejado de funcionar correctamente y se pasó a usar el SQM-LU (conectado por puerto USB).

Los SQM-L retornaron una docena de medidas para cada instante de medición, y tal experimento es más útil para la calibración cruzada de estos aparatos que para la comparación con el AstMon-UCM. Tales medidas pueden consultarse en el informe llevado a cabo por Roque Ruiz Carmona (ver Referencias al final de este trabajo).

La comparativa entre los valores medios del AstMon-UCM (filtro V) y las dos series de datos del SQM-LE es la siguiente:

Serie	SQM-LE valor medio de SB (mag/arcsec <sup>2</sup> )	AstMon-UCM filtro V SB medio (mag/arcsec <sup>2</sup> )	Diferencia máxima (mag/arcsec <sup>2</sup> )	Error
<b>Primera serie</b>	17.58 ± 0.05	17.41 ± 0.05	~0.30	< 1%
<b>Segunda serie</b>	17.73 (máx) – 17.60 (mín) ±0.05	17.62 ± 0.11	~0.27	~0.62%

Tabla 4.10. Comparativa de valores entre SQM-LE y AstMon-UCM. 28 de febrero de 2011, 19:45 a 20:25 y de 20:42 a 21:05 (UT)

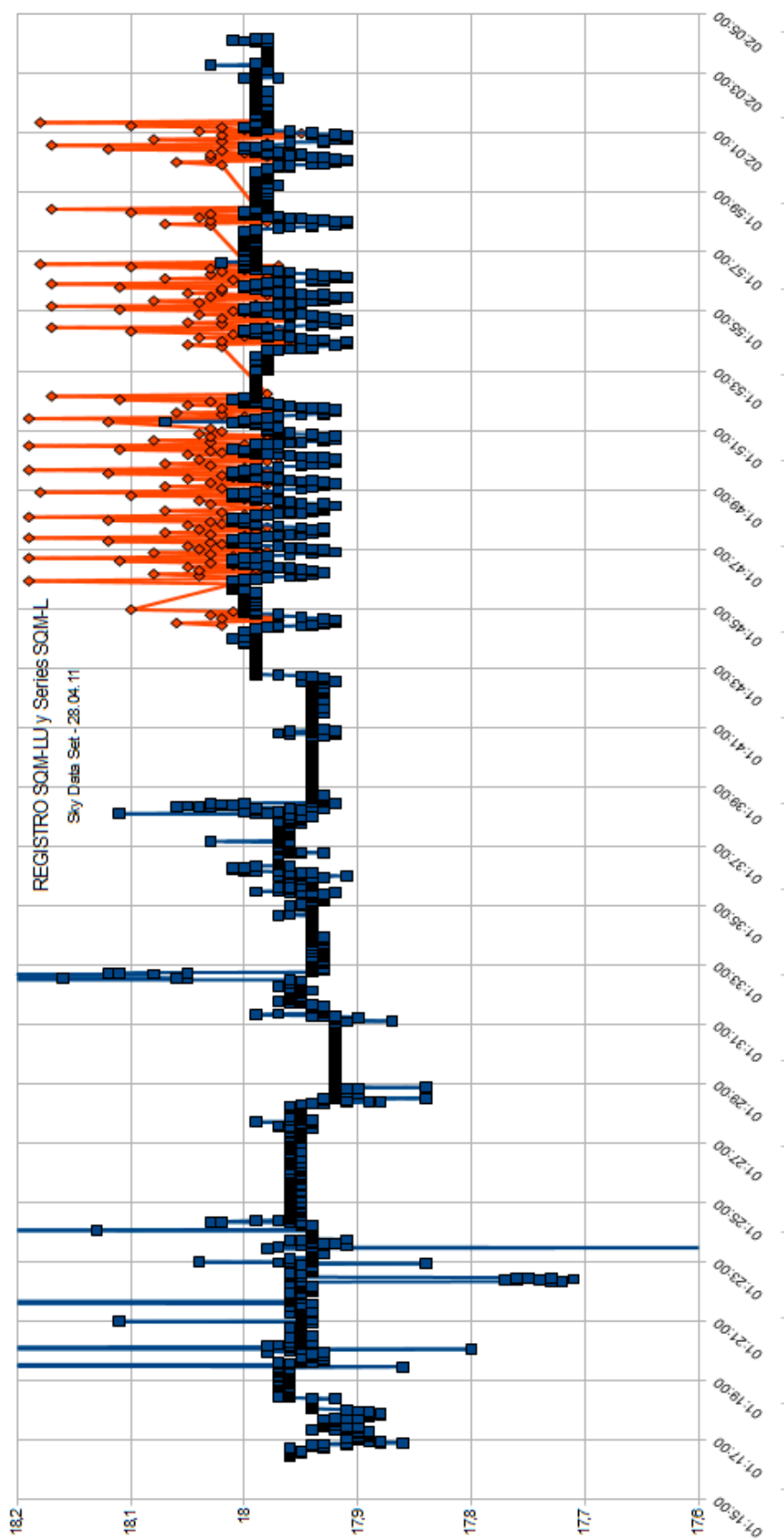
Para la primera serie, existe una diferencia media entre ambos valores de unas 0.2 mag/arcsec<sup>2</sup>, que en principio es un poco alta si se tiene en cuenta el bajo error (desviación estándar) de ambas medidas. Sin embargo, teniendo en cuenta que para ser valores medios de un periodo de tiempo de unos 40 minutos, y que para el SQM-LE pudo haber interferencias involuntarias de los integrantes del experimento (como sombras al pasar cerca del aparato), la diferencia de aproximadamente el 1% entre ambos valores es aceptable.

En la segunda serie, aun teniéndose valores incoherentes en el SQM-LE, se han tomado los valores medios máximo y mínimo para comparar con el aportado por AstMon-UCM. El resultado es que las diferencias máximas en esta segunda serie son incluso inferiores a las de la primera serie, pero carecen de la seguridad de si el SQM-LE estaba funcionando correctamente. Si así fuera, los valores medios entre ambos instrumentos tienen una precisión superior a los de la primera serie.

Es decir, aun considerando errores de en torno al 1% como asumibles, estos aparatos tienen la suficiente precisión como para poder obtener medidas aún más ajustadas. Por tanto, se debe ser exigente con ellos e intentar conseguir diferencias de centésimas de magnitud. Las condiciones óptimas para una calibración y comparación exigente deben darse con la mayor ausencia posible de interferencias o movimiento de los aparatos con personas y el ambiente.

#### **b) 28 de abril de 2011. Hora: de 1:40 a 2:05 (UT)**

Para esta fecha, ya se había sustituido el SQM-LE por el SQM-LU. Las medidas tomadas por los SQM-L y el SQM-LU se muestran en la siguiente gráfica:



Gráfica 4.26. Resultados de las medidas con SQM-LU (azul) y SQM-L(rojo) (mag) frente al tiempo. 28 de abril de 2011.

En esta ocasión también se tienen medidas de los SQM-L individuales (en rojo) a partir de aproximadamente las 1:43 (UT) de la fecha señalada, con la diferencia de que no se contó con voluntarios para el experimento sino de una plataforma diseñada para todos los SQM y que necesita tan sólo a una persona en su manejo.

Se aprecia que los valores de estos aparatos tienen una pequeña desviación entre ellos. Es entender la razón de esta desviación y su evolución temporal uno de los objetivos primordiales del proyecto actual de los SQM.

Si se toma el primer punto de su gráfica como la perteneciente al SQM-L 1, el siguiente punto al SQM-L 2 y así sucesivamente, coincide que cada SQM-L individual no tiene mucha dispersión en sus propias medidas aunque las tenga con otros.

Esto se puede ver en algunos de esos puntos con bastante claridad; se han recuadrado bajo estas líneas los puntos que se encuentran más diferenciados y que se sabe que pertenecen a un mismo SQM-L. Se les ha asignado un modelo a cada recuadro para ejemplificar lo dicho y como prueba de que un mismo SQM-L no difiere tanto en sus propias medidas aunque puede hacerlo con el resto.

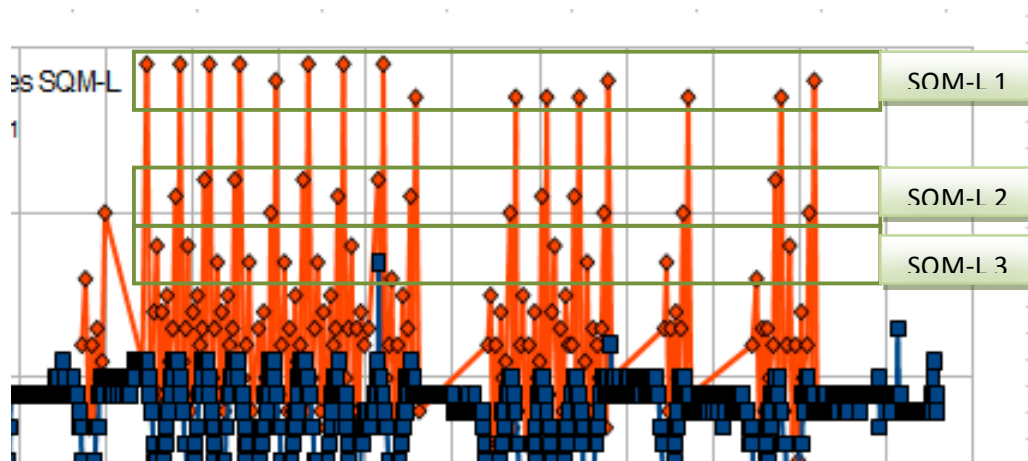


Figura 4.10. Detalle de la gráfica anterior ejemplificando la correspondencia de algunos de los valores pertenecientes a un mismo SQM-L.

Es decir, que los valores de SB tomados por cada SQM-L, y aunque no debería existir una diferencia muy grande entre valores de diferentes aparatos, la calibración es un proceso complicado y pueden surgir estas diferencias. En todo caso, conocer la causa está bajo estudio.

Por otro lado, se aprecia que la gráfica del SQM-LU tiene bastante. Es probable que algún factor externo (posibles errores humanos involuntarios, influencia climática...) haya afectado especialmente a las medidas de la primera parte de la toma de datos (entre las 1:17 y las 1:39 UT aproximadamente) ya que en ocasiones contienen puntos situados varias a magnitudes de diferencia. Otra opción es que hubiera alguna nube puntual en la zona cenital y por ello registrara valores tan dispares.

En cualquier caso, la parte final de la gráfica tiene una distribución más concentrada, en torno a las 17.9 ó 18.0 mag/arcsec<sup>2</sup>, aunque aún no se conoce la razón de que el mismo aparato (pues sólo se cuenta con un SQM-LU), describa ese perfil ascendente y descendente cada varios segundos.



Una tabla comparativa entre los datos medios obtenidos por el AstMon-UCM y los SQM activos en esta fecha es la siguiente:

Periodo horario	SQM-L (media) mag/arcsec2	SQM-LU (media) mag/arcsec2	AstMon-UCM filtro V mag/arcsec2	Diferencia máxima AstMon-UCM–SQM-L mag/arcsec2	Diferencia máxima AstMon-UCM–SQM-LU mag/arcsec2
<b>1:15 – 1:43</b>	-	17.96 ± 0.09	17.76 ± 0.01	-	~ 0.30 (~1%)
<b>1:43 – 2:03</b>	18.03 ± 0.05	17.97 ± 0.06	17.75 ± 0.01	~ 0.34 (~1%)	~ 0.29 (~1%)

Tabla 4.11. Comparativa de valores entre SQM-L, SQM-LU y AstMon-UCM. 28 de abril de 2011, 1:15 a 2:03 (UT)

Vuelve a ocurrir que las diferencias están en torno a 0.3 magnitudes menos para el AstMon-UCM frente a los SQM, siendo el error entre medidas inferior o del orden del 1%.

#### 4.5. Aplicación del AstMon-UCM a la detección de bólidos: el ‘modo bólidos’.

Desde hace varios años<sup>22</sup>, el Observatorio UCM cuenta con un proyecto para la detección de meteoros que penetran en la atmósfera. Los bólidos son un tipo de meteoro cuyas características principales son dos: su peso (superior a unos 10 gramos) y su brillo, igual o superior a magnitud -3, es decir, aproximadamente tan brillante como Venus o Júpiter. Su nombre es la Estación de Videodetección de Bólidos del Observatorio UCM, es un proyecto activo del Departamento de Astronomía y Astrofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y pertenece a la SPMN (Spanish Fireball Network<sup>23</sup>).

Hasta hace unos meses, sólo se tenían 2 cámaras en funcionamiento, pero durante el último año se ha incrementado el número hasta un total de 6 cámaras funcionales (incluyendo una cámara All Sky) así como la infraestructura de control de las mismas, consiguiendo cubrir la totalidad de la bóveda celeste y registrando bólidos todas las noches. En pocos meses se seguirá ampliando la estación mediante la instalación de otras 6 cámaras que realicen las mismas funciones que las actuales, pero durante el día.

En un principio, el AstMon no es un aparato diseñado para detectar bólidos, pero se han hecho pruebas para diseñar una configuración de opciones que favorezca la captación de estos objetos y complementar con sus imágenes las tomadas por la estación de videodetección.

A esta configuración se le ha llamado ‘modo bólidos’.

La configuración actual del AstMon-UCM, asignada para realizar las medidas para las que está diseñado, es la siguiente: los tres filtros activos durante unos 10 segundos cada uno, y un delay o retraso de secuencia de unos 200 segundos (ver sección 3.2.3).

<sup>22</sup> Por ahora se puede encontrar los inicios del proyecto en: <http://eprints.ucm.es/11458/>  
En breve podrá consultarse en la misma web una ampliación del proyecto llevada a cabo por Francisco Ocaña González.

<sup>23</sup> <http://www.spmn.uji.es/> -- Sitio actual aunque pronto contará con una nueva y más completa página web.

Esto genera en torno a unas 200 imágenes por noche, además de sus respectivas imágenes de SB procesadas, que para este particular no son útiles.

El tiempo que la cámara pasa tomando imágenes es entonces de unos 30 segundos del total de una secuencia completa, la cual es la suma de los tiempos anteriores y de algunos segundos más que necesita el aparato para mover la rueda de filtros, descargar y procesar las imágenes, oscilando en su totalidad en torno a unos 6 minutos.

Es decir, que el AstMon-UCM pasa relativamente poco tiempo por secuencia tomando imágenes, y es que para tener una idea del desarrollo del SB nocturno no es necesario una frecuencia mayor a esta. Pero eso también indica que para la captación de bólidos no es la configuración óptima, pues estos objetos no siguen un patrón de aparición definido y por tanto interesa tener una cámara activa el mayor tiempo posible.

Un resumen de la configuración normal del AstMon-UCM y la tasa de bólidos captada se presenta en la siguiente tabla:

Funcionamiento en modo normal del AstMon-UCM						
Filtros activos	Tiempo de exposición/filtro (segundos)	Delay/retraso secuencia ( $\pm 5$ segundos)	Tiempo total funcionamiento cámara (segundos)	Tiempo total secuencia ( $\pm 5$ segundos)	% tiempo activo tomando imágenes (por secuencia)	% de bólidos captados
<b>B</b>	10	200	30	375	~8%	~8%
<b>V</b>	10					
<b>R</b>	10					

Tabla 4.12. Resumen de tiempos de funcionamiento activo de la cámara del AstMon-UCM. Las incertidumbres en los tiempos de retraso y total de la secuencia se deben a pequeñas variaciones debidas al procesamiento de imágenes y movimientos mecánicos del AstMon-UCM.

Estos cálculos están hechos según la tasa media de incidencia de bólidos, que es de varias decenas por noche. La tasa de captura de bólidos de en torno al 8% indica claramente que esta configuración puede valer para medir brillo de fondo de cielo, pero queda lejos de ser óptima para la captación de bólidos.

Y este resultado viene a decir que de las aproximadamente 200 imágenes que toma el AstMon-UCM cada noche, podrá coincidir que exista cerca de una docena de imágenes que contengan un bólido, pero ni siquiera esta estadística se cumple, habiéndose encontrado apenas un par de bólidos relevantes a lo largo de estos meses de trabajo.

Las causas de esta sobreestimación no están claras, ya que en principio, el tiempo de exposición de más de 5 segundos garantiza la captación de prácticamente cualquier bólido corriente que incida en ese lapso temporal, y la magnitud de los mismos es suficientemente baja como para que queden registrados. Puede que precisamente un tiempo de exposición alto, como son 10 segundos, juegue en contra de esta detección y sea el brillo de fondo de cielo el que oculte las generalmente débiles trazas de los bólidos, pero este extremo está por ser comprobado.

Un ejemplo de estas raras capturas es el siguiente:

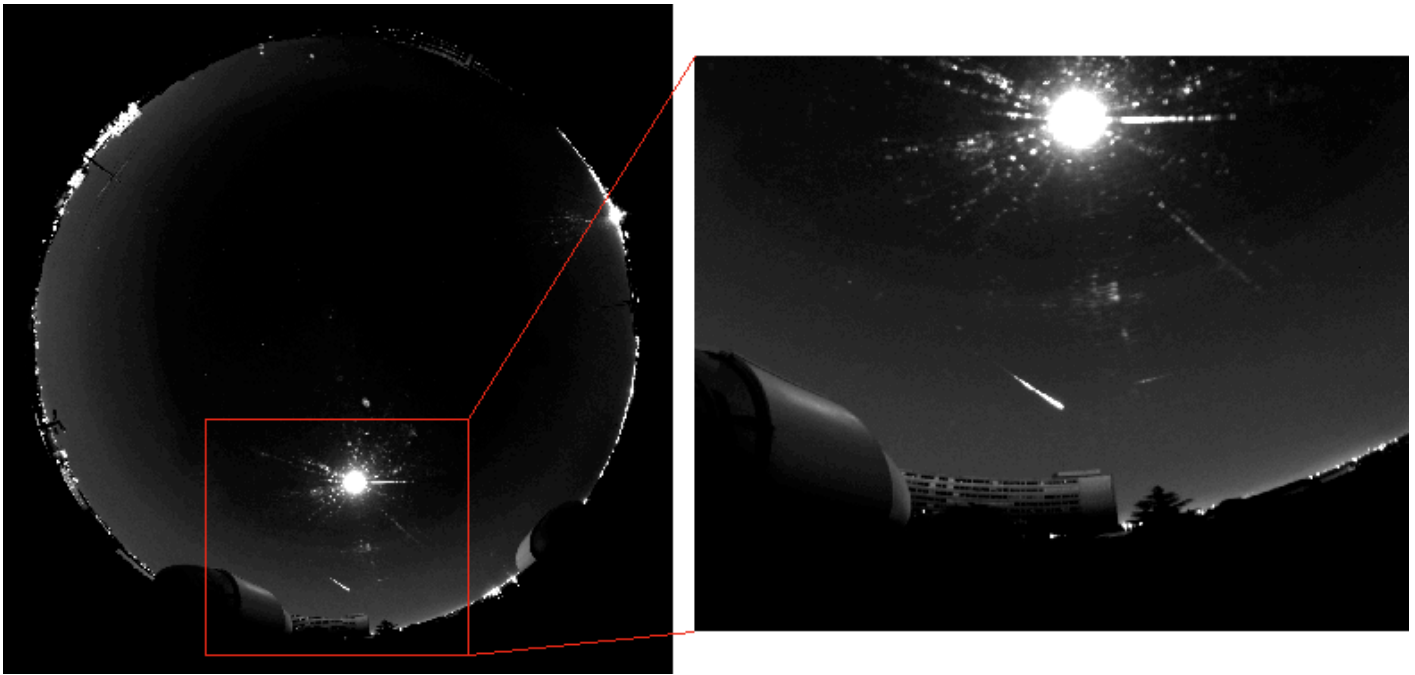


Figura 4.11. Imagen y ampliación de un bólido captado por el AstMon-UCM.  
Orientación Sur. Fecha: 19 de octubre de 2010, 22:01 (UT).

Es debido a la baja tasa de captura que se ha planteado el mencionado ‘modo bólidos’, para que en casos puntuales en que interese tener algún instrumento más captando bólidos, aparte de la estación de videodetección (por ejemplo, en fechas de lluvia de estrellas), el AstMon-UCM pueda ser útil.

La configuración del ‘modo bólidos’ consiste básicamente en mantener activo el proceso de toma de imágenes del AstMon-UCM durante la mayor cantidad de tiempo. Es decir, maximizar el tiempo en que la cámara está activada y capturando fotones. Para ello, se han realizado diferentes cálculos que en principio mejorarían la tasa de captura, pero falta que sean comprobados experimentalmente.

Actualmente se han considerado dos opciones del ‘modo bólidos’:

- una primera en que se mantengan activos los tres filtros, radicando el beneficio de este modo en que se enriquecería científicamente tener bólidos captados en diferentes bandas,
- y una segunda en que sólo se mantenga activo uno de los filtros, opción en que se pierde menos tiempo porque se elimina el movimiento mecánico de giro de la rueda de filtros.

Entonces, para cada opción, los cambios en los parámetros de configuración del AstMon-UCM propuestos para el ‘modo bólidos’ son los siguientes:

**Opción 1 (tres filtros activos)**

<b>Funcionamiento en modo bólidos (3 filtros activos) del AstMon-UCM</b>						
<b>Filtros activos</b>	Tiempo de exposición/filtro (segundos)	Delay/retraso secuencia ( $\pm 2$ segundos)	Tiempo total funcionamiento cámara (segundos)	Tiempo total secuencia ( $\pm 3$ segundos)	% tiempo activo tomando imágenes (por secuencia)	% de bólidos captados
<b>B</b>	10	3	30	40	~75%	~75%
<b>V</b>	10					
<b>R</b>	10					

**Opción 2 (un filtro activo)**

<b>Funcionamiento en modo bólidos (1 filtro activo) del AstMon-UCM</b>						
<b>Filtros activos</b>	Tiempo de exposición/filtro (segundos)	Delay/retraso secuencia ( $\pm 1$ segundos)	Tiempo total funcionamiento cámara (segundos)	Tiempo total secuencia ( $\pm 3$ segundos)	% tiempo activo tomando imágenes (por secuencia)	% de bólidos captados
<b>B</b>	0	2	10	14	~70%	~70%
<b>V</b>	10					
<b>R</b>	0					

Tablas 4.13 y 4.14. Opciones de funcionamiento en ‘modo bólidos’ del AstMon-UCM.

Con el precedente de la tasa de captura del 8% que no se ha visto reflejada en las imágenes, las nuevas tasas de captación en las dos versiones del ‘modo bólidos’ están aún por ser comprobadas experimentalmente, así que los valores anotados deben ser tratados como estimaciones.

Se realizó una prueba del modo bólidos con los tres filtros activos en las noches del 11 y 12 de agosto de 2011, en que las Perseidas tienen su máxima frecuencia de detección, pero las condiciones meteorológicas adversas de esa noche hicieron que las imágenes no recogieran más que nubes y lluvia y no pudieran comprobarse las estimaciones.

Este modo de funcionamiento está entonces a la espera de ser probado y optimizado en el futuro y queda propuesto como un proyecto paralelo a las utilidades del AstMon-UCM.

***Nota: precauciones tomar con el ‘modo bólidos’.***

Si bien el AstMon-UCM no está diseñado para este cometido, se ha comentado que es posible utilizarlo para la detección de bólidos. Pero no son sólo los cambios de configuración los que se deben realizar para que el ‘modo bólidos’ sea viable.

Deben ser tenidos muy en cuenta dos factores a la hora de forzar el ritmo de trabajo del AstMon-UCM, independientemente de cuál sea la razón, y son, por un lado, el almacenamiento de datos y, por otro, el calentamiento de los aparatos.

El nuevo ordenador del AstMon-UCM contiene espacio suficiente como para guardar numerosas imágenes de muchas noches (aproximadamente un año y medio) en un modo de funcionamiento normal e ininterrumpido. Pero una tasa de almacenamiento de imágenes superior a la normal, como sería la provocada por la utilización prolongada del modo bólidos y el almacenamiento de numerosas imágenes FITS (de tamaño cercano a los 24 MB por imagen), podría llenar los discos duros con mucha mayor rapidez y bloquear las funciones del aparato.

Por otro lado, el uso de los aparatos como la cámara y el resto de mecánica interna pueden ser aumentado, pero debe tenerse en cuenta de que a largo plazo, es probable que usos prolongados de modos que fueren el ritmo de trabajo del AstMon-UCM podrían redundar en problemas de índole mecánica o acortar la vida útil de sus componentes.

Por el momento no se tiene constancia de cómo puede afectar al AstMon-UCM un ritmo de trabajo superior al designado para sus funciones principales, pero no por ello deben ser descuidados estos aspectos y es altamente recomendable realizar las pruebas necesarias de manera personal, ya sea controlando el aparato de forma presencial o remota, y prestando la debida atención al almacenaje y a los pilotos de control.

#### **4.6. Proyecto de divulgación. Archivado de datos para el futuro y su divulgación: sitio web y base de datos.**

El potencial divulgativo del AstMon-UCM es realmente notable. No sólo tiene una parte de estudio físico del cielo y sus constantes y características, sino que tales resultados pueden ser transmitidos al público para ayudar a la concienciación del problema que resulta la contaminación lumínica en tan diferentes sentidos, no sólo de ámbito científico.

- Sitio web: [www.cielosdemadrid.com](http://www.cielosdemadrid.com)

Desde la adquisición del AstMon-UCM, se tuvo claro que la comunicación de ya fueran resultados científicos y comentarios de divulgación tenía que ser una prioridad.

Hacia Octubre de 2010 se realizó una primera versión del sitio web destinado a AstMon-UCM dentro de la web de GUAIX (Grupo Ucm de Astrofísica Instrumental y eXtragaláctica<sup>24</sup>).

Aunque este sitio, hacia noviembre-diciembre de 2010, fue mejorado (escrito principalmente en Java), localizado en un dominio propio y renombrado con una clara orientación divulgativa como es *Cielos de Madrid*<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> Sitio web de GUAIX: <http://guaix.fis.ucm.es/node/15>

Sitio web del AstMon-UCM en GUAIX: <http://guaix.fis.ucm.es/node/1469>

<sup>25</sup> Cielos de Madrid: <http://www.cielosdemadrid.com>



Figura 4.12. Captura de la página de inicio de [www.cielosdemadrid.com](http://www.cielosdemadrid.com).

Actualmente, el sitio web contiene información suficiente como para que el visitante entienda qué es, cómo y para qué funciona el AstMon-UCM, pero debe ser considerada una página en desarrollo, pues el potencial divulgativo mencionado invita a pensar en muy diferentes secciones y añadidos que serán sin duda cuestión de tiempo que se lleven a cabo.

Hasta la fecha, la página web de Cielos de Madrid contiene las siguientes secciones:

- *Página de inicio*: la página principal, en que se muestra en el centro y en grande la última imagen tomada por el AstMon-UCM en el filtro V, bajo una serie histórica de imágenes fechadas del resto de la noche. A la derecha aparecen dos imágenes: la fase lunar actual y un mapa de luz a nivel mundial, y unos pequeños logos de compartición en otros sitios web y redes sociales. A la izquierda, el menú y los logos de patrocinadores y participantes del proyecto, vinculados a los sitios web de cada uno.
- *¿Qué es esto?*: una página dedicada a la explicación de dónde está y qué es el AstMon-UCM.
- *Archivo*: sección dedicada a contener imágenes interesantes tomadas por el AstMon-UCM.
- *Animaciones*: existen varios programas que permiten realizar vídeos mediante el enlace de diferentes imágenes a modo de animación. Esta sección está destinada a contenerlas y a incluir posibles vídeos interesantes sobre contaminación lumínica o cámaras All Sky similares al AstMon.
- *Enlaces*: en esta página se recogen varias decenas de enlaces a sitios web con contenido similar al ofrecido en [cielosdemadrid.com](http://cielosdemadrid.com). La orientación de estas páginas va

desde algunas meramente divulgativas hasta algunas de contenido más técnico, pero todas son recomendables para cualquier visitante.

- *Contacto*: sección que contiene un formulario de contacto accesible y utilizable por cualquier visitante para facilitar la comunicación entre el público y los administradores de la página (actualmente: Emilio Salazar, miembro de GAE, y Pablo Ramírez, quien suscribe este informe).

- Almacenamiento y base de datos:

La web y el propio AstMon-UCM también están vinculados de forma que pueden servir no sólo como proyecto divulgativo sino como nodo de compartición de datos científicos.

En otras palabras, se ha planteado la posibilidad de que los datos científicos acumulados por el AstMon-UCM sean compartidos con la comunidad internacional. Y un buen sitio para realizar tal oferta es la web de Cielos de Madrid.

Obviamente, los servidores de sitios web permiten un almacenaje limitado, por lo que no se enfoca esta idea a que la web haga de almacenador virtual y público, sino que sea el canal a través del cual acceder a los datos del AstMon-UCM.

A diferencia de las imágenes procesadas y sin procesar, los datos de extinción del aparato son ficheros de poco peso, por lo que sería posible elaborar un histórico en el sitio web que vincule un calendario a los ficheros de tal noche, e incluir versiones más ligeras de algunas imágenes por noche.

Esta opción de acceso a los datos daría profundidad a la web tanto en el plano divulgativo como en el científico, y es sin duda uno de los puntos más interesantes a desarrollar en el futuro.

#### **4.7. Una aplicación meteorológica: mapas de nubes.**

Otro subproducto del AstMon es la posibilidad de realizar mapas esquemáticos de nubes.

La generación de estos mapas está actualmente desactivada pues es una utilidad del instrumento que por ahora no se ha abordado (se propone como proyecto futuro en el Apéndice D), pero deja entrever nuevas utilidades del aparato.

La creación de estos mapas esquemáticos se realiza mediante la no-detección de estrellas. Es decir, el AstMon busca puntos de flujo elevado que corresponden a las estrellas de los catálogos integrados a los que acude para identificarlas. Sin embargo, puede que, por la existencia de nubes, el AstMon no detecte lo esperado.

Es entonces cuando, en una región concreta, de un número de estrellas esperado, encuentra un número inferior, interpretando la existencia de nubes que tapan tal región.

El mapa de nubes se genera entonces de forma porcentual, indicando el grado de nubosidad de una región en función del número de estrellas encontradas.

Un alto porcentaje de nubes será propuesto para una región concreta cuando no encuentre en ella más que unas pocas estrellas, y viceversa.

Un ejemplo de un mapa de nubes generado por el AstMon-UCM es el siguiente:

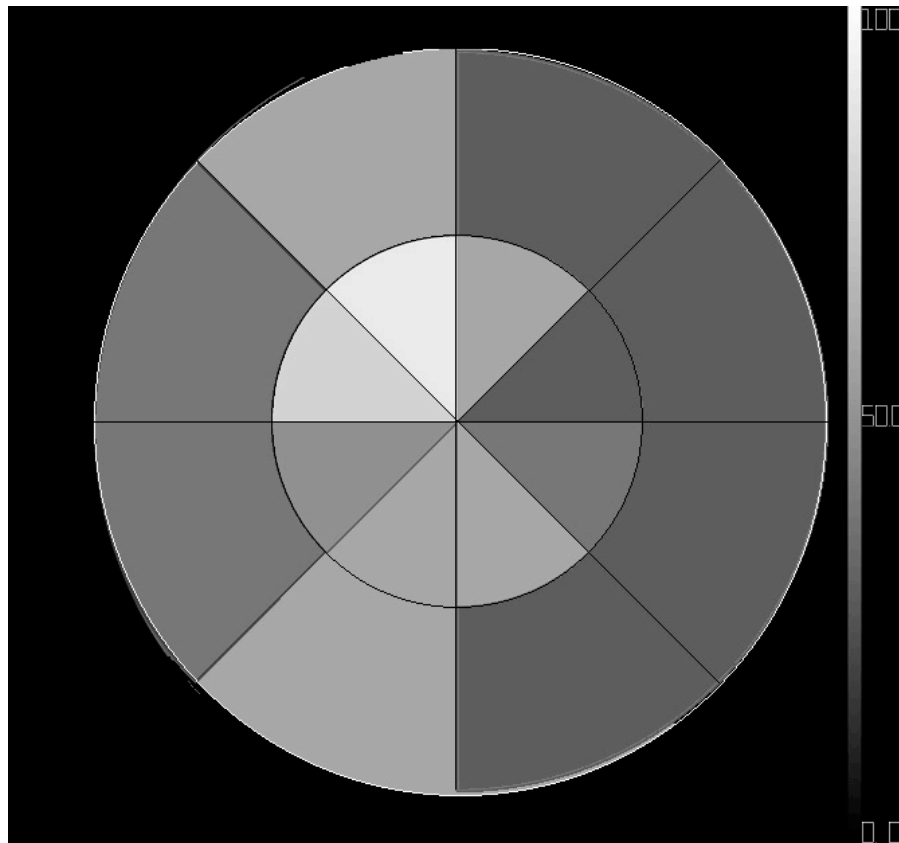


Figura 4.13. Mapa de nubes. 27 de noviembre de 2010, 00:48 (UT).

El ejemplo muestra una división en sectores de la bóveda celeste, asignando a cada uno de ellos un grado en la escala de grises anexa, y que mide el porcentaje de nubosidad de cada sector. Los valores más claros representan altos porcentajes de nubes, mientras que los más oscuros pertenecen a zonas más despejadas. De forma orientativa, pueden utilizarse estos mapas de nubes como referencia para buscar noches o instantes de una noche despejados, pero no son concluyentes en cuanto a la definición de noches fotométricas debido a que la presencia de aerosoles o nubes finas puede pasar desapercibida a la hora de detectar estrellas y sin embargo contaminar los mapas de brillo de fondo de cielo.





## 5. Conclusiones.

A lo largo del periodo de tiempo de trabajo con el AstMon-UCM, no sólo se ha pasado de entender lo básico a intentar obtener resultados ambiciosos, sino que se ha hecho frente a toda suerte de modificaciones y factores inesperados que han contribuido a dar forma al propio proyecto y a elaborar una serie de conclusiones fundamentadas en muchas horas de comprensión, trabajo y dedicación.

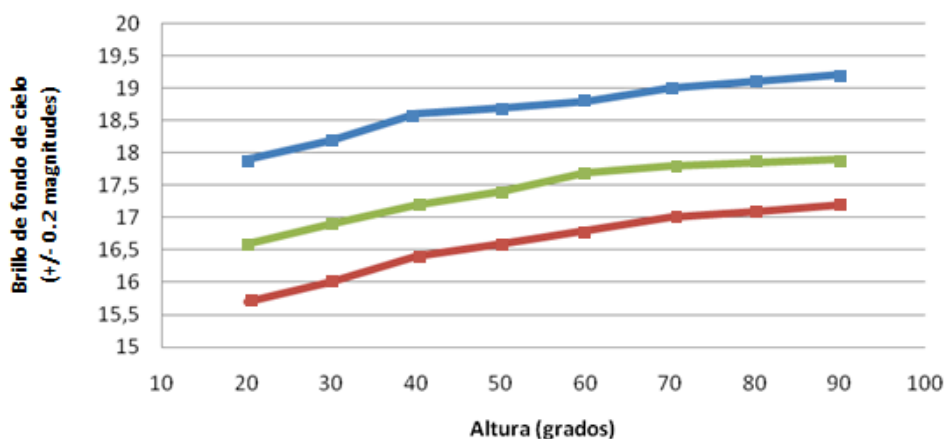
Se presentan a continuación tales conclusiones abordando, por un lado, los comentarios pertinentes y resúmenes de los resultados de cada objetivo y por otro, la valoración del grado de éxito de los objetivos principales.

### 5.1. Brillo de fondo de cielo. Valores medios típicos para el Observatorio UCM.

El Observatorio UCM cuenta desde julio de 2010 con un monitor de brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica, AstMon-UCM, que permite estudiar la calidad del cielo de Madrid. Con este instrumento, se ha comprobado que la contaminación lumínica tiene un papel fundamental en los resultados de brillo de fondo de cielo de la ciudad. Afectan en enorme medida a las condiciones de observación y su caracterización ha quedado reflejada en los resultados del análisis llevado a cabo con el AstMon-UCM.

Uno de los objetivos principales de este trabajo consistía en dar un valor de referencia al brillo de fondo de cielo en cada banda fotométrica utilizada. Tras el estudio exhaustivo de la gran cantidad de datos obtenidos a lo largo del año de vida activa del instrumento, el AstMon-UCM ha conseguido dar tales valores con gran precisión para las noches consideradas fotométricas. Y si bien las condiciones adversas pueden complicar el cálculo de esos valores y reducir la muestra de datos válidos, el conjunto de resultados obtenidos en el presente trabajo es suficientemente robusto matemáticamente como para proponer los valores presentados como referencia para el Observatorio UCM.

Como demuestran los análisis de la *variación del SB con la altura*, incluso en noches despejadas, se pueden llegar a tener grandes variaciones según la región del cielo en que se mida, llegando hasta 1.5 magnitudes de diferencia para un mismo filtro.



Gráfica 5.1.  
Variación del brillo de fondo de cielo con la altura para una terna de imágenes de la noche del 12 de noviembre de 2010, 4:42 a.m. - 4:45 a.m. (UT). Filtro B en azul, filtro V en verde, filtro R en rojo.

La contaminación lumínica influye de forma proporcional a la pendiente del brillo de fondo de cielo con la altura.

Idealmente, esta pendiente debería ser prácticamente nula, es decir, para cualquier región del cielo en una noche despejada debería encontrarse el mismo brillo de fondo de cielo (salvo pequeñas variaciones) y este sería el valor óptimo de SB para el filtro correspondiente. Sin embargo se observa que la contaminación lumínica de la ciudad de Madrid hace disminuir notablemente la magnitud cuanto más cerca del horizonte se mida, llegándose a unos descensos de hasta 2 magnitudes en cualquier filtro.

Las regiones de la bóveda celeste situadas por debajo de una altura de 60° o 65° son las más afectadas y aunque hasta la región más cenital no escapa a la contaminación, puede afirmarse que los valores medios de brillo de fondo de cielo medidos en el cénit son los menos afectados por tal contaminación y por tanto son el indicador referencia de SB para la zona de Madrid donde se sitúa AstMon-UCM.

A partir de estos últimos, se ha obtenido por primera vez un conjunto de valores medios típicos de brillo de fondo de cielo, que se presentan a continuación y *se proponen como los valores de SB de referencia para noches fotométricas en el Observatorio UCM*:

Valor medio típico (región cenital) de brillo de fondo de cielo en noches despejadas para el Observatorio UCM.			
<i>filtro</i>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>R</b>
<b><i>SB (mag)</i></b>	19.20 ± 0.12	17.90 ± 0.09	17.13 ± 0.08

Tabla 5.1. Valores medios típicos de SB en la región cenital para el Observatorio UCM.

Esta tabla está realizada basándose en la estricta muestra de valores medios cenitales de noches consideradas fotométricas, limitada al 5% de los datos mejor ajustados al nivel de brillo de fondo de cielo más alto registrado, partiendo de las gráficas de valor medio típico (ver sección 4.1.2.) y que abarcan el periodo de tiempo que empieza en julio de 2010 hasta junio de 2011.

Este conjunto de datos ofrece unos valores medios típicos en el cénit de las noches de mejor calidad astronómica, ya que en el resto de valores medios existe una gran dispersión que no garantiza que se dieran las condiciones necesarias para ser consideradas noches fotométricas o de calidad astronómica.

A partir de esos valores, se puede adoptar como *criterio de selección para noches fotométricas* las noches cuyos valores medios pertenecen al intervalo definido por tales valores y su error.

Esta proposición está sujeta a posibles cambios dependiendo de un posterior estudio con una muestra de datos superior en número y lapso temporal. Si bien con los datos disponibles parece existir una tendencia más o menos definida en los valores medios típicos de SB, no es descartable que estudios a mayor escala puedan obtener resultados con mayor precisión.

El estudio de la *variación estacional* es por ahora insuficiente como para sacar conclusiones sólidas en cuanto a la variación del SB con el tiempo, pero no es improbable que se encuentren variaciones suficientemente significativas como para apreciar una tendencia de cambio cíclico, acorde probablemente a la evolución de la contaminación lumínica de origen terrestre según la época del año.

Sin embargo, esta consideración no puede ser sostenida en este trabajo por las razones explicadas. Se deja propuesto como proyecto futuro (ver Apéndice D) el estudiar la variación del brillo de fondo de cielo a largo plazo así como su evolución estacional y según las condiciones climatológicas.

Por otro lado, la *presencia de la Luna* en la bóveda celeste afecta considerablemente a cualquier medida de SB, provocando variaciones en las medidas de prácticamente todo punto, que van desde 0.4 hasta 3 magnitudes. Una conclusión inevitable es que las noches con Luna, a la que hay que sumar una gran contaminación lumínica terrestre, quedan fuera del conjunto de noches fotométricas. Estudiar el efecto de la Luna en función de su fase y altura es otro posible proyecto realizable con el AstMon-UCM. También se ha dejado propuesto como posible proyecto en el Apéndice D.

Las *noches nubosas* también quedan excluidas de cualquier consideración de buena calidad astronómica dado que los valores medios del grueso de noches alejadas de los valores máximos de SB se sitúan entre 2 y 4 magnitudes por debajo de los valores óptimos considerables como fotométricos.

El contraste de datos de SB entre el *AstMon-UCM y los SQM*, experimento paralelo de estudio de la calidad del cielo, ha permitido cruzar medidas y ver la tendencia de cada uno de los instrumentos.

El error esperado de los SQM se sitúa en torno a 0.1 mag según Unihedron, empresa fabricante de los SQM, pero se han detectado incertidumbres instrumentales de hasta 0.2 magnitudes, demasiado elevadas. Algunas de estas desviaciones pueden ser descartadas por ser probables interferencias humanas o circunstancias del ambiente y la atmósfera, además de que no son representativas de la tendencia general, que se sitúa en torno a valores más concretos y con escasa dispersión. Sin embargo, en experimentos sin voluntarios y con unas condiciones que, a priori, indican una buena preparación y ejecución de los mismos, también se han encontrado medidas inesperadamente desviadas. La razón de tales datos está bajo estudio y se espera que sea publicado un informe al respecto en escaso tiempo.

Los valores del AstMon-UCM para las mismas fechas y horas presentan una incertidumbre de hasta 0.11 mag, aunque la incertidumbre media también recae en las centésimas de magnitud. Se ha visto, sin embargo, que parece existir una diferencia máxima entre este instrumento y los SQM de hasta 0.3 magnitudes en el peor de los casos. La causa de esta diferencia no está clara, pero ya sea por sobrevaloración de brillo por parte del AstMon-UCM o por infravaloración de los SQM, debe considerarse por el momento que el rango de valores de brillo de fondo de cielo puede llegar a diferenciarse en esa cantidad de 0.3 magnitudes. La tendencia general indica que las diferencias serán menores, pero valores dentro de ese intervalo de  $\pm 0.3$  magnitudes de diferencia entre ambos pueden ser considerados como válidos, si bien no serán óptimos.

Actualmente, la muestra de datos de los SQM cuenta con más de 3000 valores entre todos los experimentos. Se ha comprobado que en los resultados de esta muestra hay fallos de consistencia y sus causas no son claras. Sin embargo, la muestra de datos de SQM manejada en esta comparativa tan sólo consta de varios cientos de valores, obtenidas en varias sesiones de apenas un par de noches. Ampliar la estadística en el futuro puede ser una opción para intentar concluir si las diferencias máximas actuales son meramente instrumentales o si es posible mejorar la calibración en alguno de los instrumentos (propuesta en el Apéndice D), aunque se sospecha que una muestra

superior no aclarará las inconsistencias y será necesario un nuevo enfoque para mejorar la calibración.

En otro *experimento cruzado entre el AstMon-UCM y el AstMon-CAHA*, se ha comprobado que las diferencias de magnitud entre el cielo de Madrid y el de Calar Alto son notables.

Aunque no se dispone de datos a largo plazo de AstMon-CAHA, recuperando la siguiente tabla de comparación entre ambos:

Filtro	AstMon-CAHA valores cenitales medios de SB de la muestra (mag)	AstMon-UCM valores medios típicos de SB (mag)	Diferencia entre AstMon- CAHA y AstMon-UCM (mag)
<b>U</b>	20.52	no hay datos	-
<b>B</b>	20.17	19.20	<b>0.97</b>
<b>V</b>	19.65	17.90	<b>1.75</b>
<b>R</b>	19.11	17.13	<b>1.98</b>
<b>I</b>	18.18	no hay datos	-

Tabla 5.2. Comparativa y diferencias aproximadas de SB de imágenes procesadas por AstMon-CAHA y la estadística realizada para AstMon-UCM.

puede afirmarse que el incremento de brillo de fondo de cielo producido por la contaminación lumínica de Madrid será como mínimo de 1 ó 2 magnitudes, dependiendo del filtro. Un estudio comparativo a largo plazo entre ambos podría arrojar diferencias más precisas, permitiendo conocer con datos más sólidos la magnitud real de la contaminación lumínica en el cielo de Madrid.

## 5.2. Extinción atmosférica.

Los parámetros de extinción atmosférica pueden ser calculados con una buena precisión mediante el uso del AstMon-UCM. Lo más importante para cualquier cálculo de extinción serán los datos de partida y su fiabilidad, es decir, tener datos pertenecientes a una noche despejada, que pueda ser considerada como fotométrica. La variación de los coeficientes de extinción han sido analizados a gran escala temporal, observando su frecuencia y estudiando la evolución temporal para una estrella en concreto, Alpha Lyrae, también conocida como Vega (HD172167).

Por un lado, la frecuencia de los coeficientes de extinción detectados a largo plazo en cada banda, señalan una tendencia de los mismos hacia un rango de valores bastante limitados y diferentes para cada una. Quedan propuestos como *rangos de valores típicos de coeficientes de extinción para el Observatorio UCM* los siguientes intervalos:

Filtro B	–	$K_{\lambda=B} \in [0.4, 0.5]$
Filtro V	–	$K_{\lambda=V} \in [0.2, 0.4]$
Filtro R	–	$K_{\lambda=R} \in [0.2, 0.4]$

Tabla 5.3. Rango de valores típicos de coeficientes de extinción en cada banda para el Observatorio UCM.

El estudio de Vega – HD172167 durante aproximadamente el lapso de un año (ver sección 4.2.2.), ha permitido comprobar que el coeficiente de extinción observado para cada banda entra dentro de los intervalos asumidos como rangos típicos de coeficientes de extinción en las bandas B, V y R para el Observatorio UCM.

El criterio para establecer tales intervalos debe ceñirse a los resultados experimentales, que eliminan cualquier punto por debajo de 20° de altura así como aquellos que superen la banda de puntos más densa en un factor 2.

Otro de los objetivos principales de este trabajo consistía en calcular experimentalmente los **valores de las constantes instrumentales** del AstMon-UCM, llamadas “ZP” (Zero Points) o simplemente “C”, mediante el uso de las ecuaciones [1], [2] y [3], que relacionan magnitudes, flujo de cuentas, extinción y masa de aire.

Mediante las relaciones [4.1] y [4.2], expresadas en la sección 4.2.3., se llega a la ecuación [4.3]:

$$m_{i,0} + 2.5 \log F(c/s) = C - K_x \cdot \sec(z)$$

con la que se ha desarrollado el cálculo de C realizando una regresión lineal sobre los pares de valores definidos como:

$$[x ; y] = [\sec(z) ; m_{i,0} + 2.5 \log F(c/s)].$$

y que a su vez han sido corregidos de color, que introducía un considerable error en las medidas.

Los resultados obtenidos tras estudiar varias estrellas en imágenes de cada filtro han permitido obtener unas constantes instrumentales de buena precisión en comparación con las actualmente utilizadas por el instrumento.

Filtro	Cte. Instrumental experimental	Cte. Instrumental del AstMon-UCM	Error
<b>B</b>	10.21	9.68	<b>5.2 %</b>
<b>V</b>	10.32	10.09	<b>2.3 %</b>
<b>R</b>	10.86	9.91	<b>8.7 %</b>

Tabla 5.4. Comparativa entre los resultados de los ajustes y los parámetros actuales del AstMon-UCM.

Una conclusión directa que se puede obtener de estos resultados es que el flujo obtenido de las estrellas analizadas debe ser tomado con la mayor precisión posible para evitar errores. Y es que tal variable (flujo “F” en cuentas por segundo) es uno de los parámetros que modifican en mayor grado los valores del eje de ordenadas, haciendo que estrellas cuya masa de aire (secante del ángulo cenital) es muy parecida, tengan valores del parámetro “ $m_{i,0} + 2.5 \log F(c/s)$ ” muy dispersos, provocando la consecuente falta de correlación en el ajuste. En otras palabras, el flujo de las estrellas debe ser medido teniendo en cuenta que deben quedar aisladas de estrellas u objetos brillantes cercanos. Es necesario para que no se tenga en cuenta en las medidas la contribución de esos objetos pues introducen más flujo del que corresponde a la magnitud aparente tabulada de la estrella. Para ello, la escala de la imagen debe ser lo más grande posible. Esta necesidad trae un problema adyacente y es que la generación de imágenes de mayor tamaño implica un mayor peso, con los consecuentes problemas de almacenamiento.

Por otro lado, la corrección de color ha demostrado jugar un papel relevante a la hora de conseguir obtener las constantes instrumentales experimentales anteriores, ya que ha mejorado sensiblemente los resultados.

### 5.3. Aplicación del AstMon al proyecto CTA de GAE-UCM.

La idea de la adición de un monitor de brillo de fondo de cielo y extinción atmosférica como el AstMon-UCM al proyecto CTA es sensata y ventajosa en todos sus sentidos. Y es que tener un instrumento dedicado a realizar medidas de SB y extinción de forma continua a lo largo de las noches, puede agilizar en buen grado la seguramente pesada carga de trabajo de un proyecto de tal magnitud.

Las observaciones y experimentos necesarios para llevar a cabo la comprobación de la utilidad del monitor en la banda U, requerida para el proyecto por ser la región del espectro donde operarán los telescopios Cherenkov, no fueron llevadas a cabo con el propio AstMon-UCM dado que no se ha contado con tal filtro en el instrumento. Fue en el Centro de Astronomía Hispano-Alemán, CAHA, de Calar Alto, donde sí se han realizado algunas mediciones ya que dispone de un filtro en tal banda.

Recuperando la imagen en el filtro U procesada por el AstMon-CAHA y mostrada en la sección 4.1.2, se puede hacer notar un detalle:

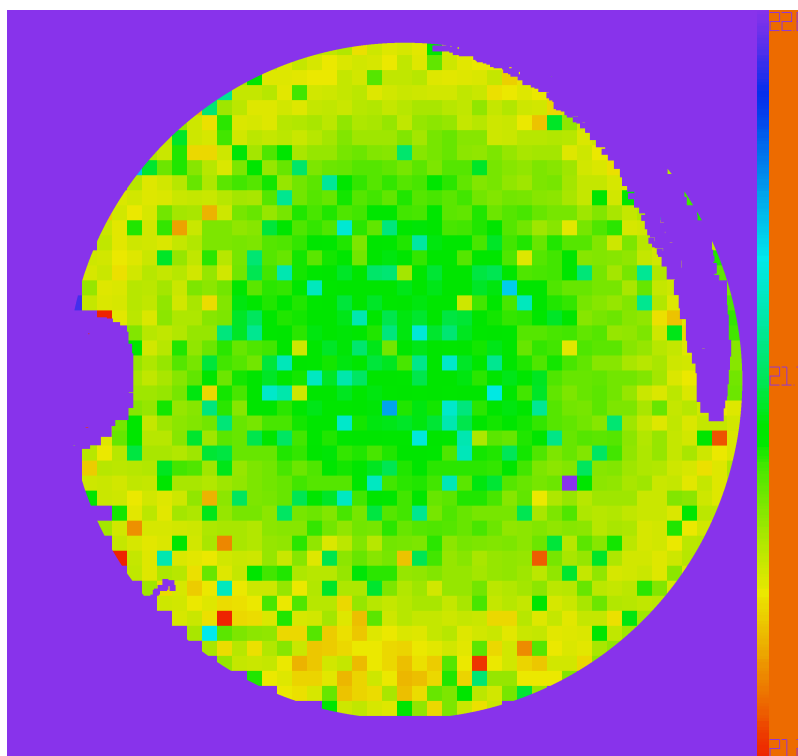


Figura 5.1. Imagen procesada por AstMon-CAHA en el filtro U.  
Fecha: 20 de junio de 2011, 21:32 (UT)

Cada uno de los pequeños cuadrados de color homogéneo que se observan es una ‘caja’ o porción de cielo de un tamaño concreto en píxeles. Todos los píxeles de una caja tienen el mismo color, ya que la estadística de brillo de fondo de cielo se lleva a

cabo sobre cada una de las cajas, y se asigna la magnitud resultante a todos los píxeles de cada una de ellas.

Es decir, el color de las cajas indica la magnitud media de esa porción de cielo y el tamaño de tales cajas no es aleatorio, sino que debe ser ajustado de forma inversamente proporcional a la intensidad de la señal de la imagen. Para imágenes con señal baja, como son las de filtro U, el tamaño de las cajas debe ser mayor que para imágenes de mejor señal (como son las bandas V o R), y viceversa.

Este ajuste se realiza para cometer el menor error posible, pues en filtros donde la señal es baja, un cálculo estadístico en porciones de cielo demasiado pequeñas da lugar a muy diferentes magnitudes para regiones muy cercanas, lo cual no es aceptable.

En un cielo como el de Madrid, las cajas no pueden ser especialmente pequeñas porque la contaminación lumínica está muy presente, y si se pretende crear un mapa de SB bien ajustado, las desviaciones provocadas por pequeñas cajas contaminadas directamente por potentes focos de contaminación lumínica pueden sesgar notablemente los resultados.

En el caso de un cielo como el que observa AstMon-CAHA, similar al que se tendrá en el lugar de desarrollo del proyecto CTA, los focos de contaminación lumínica son prácticamente nulos, pero una escasa señal en la banda deseada provoca los mismos problemas: regiones cercanas con magnitudes muy diferentes. Y por tanto, un mapa de brillo de fondo de cielo incorrecto.

Y es que fue en Calar Alto, con el AstMon-CAHA donde se llevaron a cabo los primeros intentos de aplicación del AstMon al proyecto CTA. Los resultados, comentados en la sección 4.3., dejaron ver que la baja señal recibida en el filtro U hace necesario un mayor trabajo con esta banda.

Por ahora, sólo se han dado los primeros pasos para conseguirlo, pero el objetivo para encontrar mejores resultados es claro: aumentar la débil señal captada en la banda U y encontrar una estadística que optimice un ajuste del mapa de brillo de fondo de cielo.

#### **5.4. Valoración de la utilización del AstMon-UCM en otros proyectos.**

El AstMon-UCM cumple perfectamente el objetivo para el cuál ha sido diseñado: medir brillo de fondo de cielo y como subproducto, la extinción atmosférica del lugar donde se sitúe. Es un instrumento de estudio de contaminación lumínica instantánea y a largo plazo de gran valor, y puede constituir una pieza clave en multitud de proyecto en este sector.

Sin embargo, también es un instrumento versátil y altamente manipulable, por lo que puede ser considerado capaz de realizar otras tareas diferentes a las inicialmente asignadas.

El contraste de datos con otros instrumentos astronómicos como pueden ser los medidores SQM, no sólo son posibles, sino altamente recomendables, pues el cruce de



resultados de diferentes proyectos puede dar gran solidez a las conclusiones alcanzadas por cada uno de ellos y mejorar su configuración.

De igual forma, la utilización del AstMon en diferentes bandas es perfectamente posible y en aquellas donde existan dificultades (como en la banda U para el proyecto CTA), sólo se requiere adecuar el instrumento a las condiciones físicas y mecánicas óptimas para que sea lo más productivo posible.

El uso del AstMon-UCM como detector de bólidos es un uso completamente improvisado y que sin embargo, no es difícil de conseguir. Esto anima a la búsqueda de otros usos y proyectos.

Incluso en otras ramas de la física, también puede ser considerado como un instrumento útil, pues puede registrar por ejemplo mapas de nubes que permitan estudiar la evolución de las mismas a nivel nocturno y quedar como referente y base de datos a largo plazo.

Además, se ha preparado un sitio web dedicado a los Cielos de Madrid en donde pueden darse a conocer tanto datos como resultados obtenidos con el instrumento a lo largo de los años para así intentar no sólo realizar ciencia sino poner al alcance de iniciados y no iniciados la información referente a la calidad del cielo de Madrid y los problemas comprobados y contrastados respecto a la gran contaminación lumínica que sufre.

Esta página web está pensada para que tenga la utilidad paralela como almacén de datos que sean puestos a disposición de la comunidad científica y permitan el intercambio de información entre otros lugares en que se realicen estudios similares.

## Apéndice



## Apéndice A

### Organización y formatos de los ficheros y archivos del AstMon-UCM.

Por comodidad en la explicación, se puede hacer una clasificación de los ficheros que maneja y genera el AstMon-UCM: por un lado están los ficheros de configuración, y por otro, los ficheros ‘producto’, que son las imágenes y ficheros de datos resultado de las medidas.

- Ficheros de configuración.

Son una serie de archivos que maneja el AstMon-UCM y son necesarios para su correcto funcionamiento. Hay en torno a una docena de estos archivos que resultan de especial importancia, yendo desde sencillos ficheros de texto hasta imágenes FITS, y no deben ser manipulados o alterados sin la debida precaución.

Se localizan en la carpeta llamada “*AstMon*”, y que es accesible desde un acceso directo llamado “*Astmon Parametros*” situado en el Escritorio. Su ruta de acceso es:

*C:\Archivos de programa\iTec Astronomica\AstMon*

y en concreto la subcarpeta “*Data*” concentra la mayor parte de los ficheros de configuración más importantes.

De estos ficheros cabe destacar varios que deben conocerse por su utilidad y quizás para resolver ciertos problemas que puedan surgir:

**mask-ucm.fit** – es la máscara generada tras la instalación para el AstMon-UCM. Si por cualquier razón se dejara de aplicar, es necesario asignar este archivo como máscara desde el menú del programa de control: *File > Load Mask*.

**ObservingTimes.dat** – es el archivo de texto simple donde se engloban todos los horarios de encendido y apagado que sigue el AstMon-UCM. Pueden cambiarse manualmente, pero debe respetarse estrictamente el formato:

Fecha (día mes → DDMM) – Hora de apagado (horas minutos → HHMM) – Hora de encendido (horas minutos → HHMM).

**Parameters.dat** – archivo donde se guarda la última configuración adoptada por el programa de control del AstMon-UCM. Básico para su funcionamiento, es a este archivo donde acude el instrumento para configurarse en caso de reinicio del ordenador o del programa de control. En ocasiones, muchos errores vienen dados por una corrupción de este fichero así que es recomendable tener siempre una copia de una versión del Parameters.dat funcional para sustituir en caso de que se dé tal corrupción. Una copia del actual estado del Parameters.dat puede encontrarse en la página siguiente.

**SpecialPos.dat** – fichero donde quedan recogidos los pares de puntos X – Y de la ventana del programa de control del AstMon-UCM, y que corresponden a los lugares concretos de medición de los coeficientes de extinción. Son modificables siguiendo el proceso: *Measure > Define Special Position*, en el menú del programa de control del instrumento.

**StartEndTime.dat** – fichero exclusivamente de lectura (no modificable) de las horas de encendido y apagado de la fecha concreta del día actual. Este fichero puede cambiar si previamente se cambia la hora de encendido y apagado del fichero *ObservingTimes.dat*, mencionado anteriormente.

***Versión del fichero PARAMETERS.DAT a fecha: 1 de septiembre de 2011.***

```

SBIG COM Port=2
Electronic COM Port=2
BoxWidth (statistic)=25
Grid Size (deg2)=50
Correct DarkFrame=1
Correct FlatField=1
Create Auto-Dark=1
ITime Filter0=0.000000
ITime Filter1=10.000000
ITime Filter2=10.000000
ITime Filter3=10.000000
ITime Filter4=0.000000
Apply a mask=1
DataPath=C:\Astmon\Data
Saveimages=0
InnerAperture=6
GapAperture=9
OuterAperture=11
Site=UCM
longitude=-3.726100
Latitude=40.451100
ZeroPoint0=6.943400
ZeroPoint1=9.678644
ZeroPoint2=10.094794
ZeroPoint3=9.906132
ZeroPoint4=8.048658
Number of rings=0
Ignore Blooming=1
Measure with Moon=1
Limit Magnitude=3.000000
errZeroPoint0=0.120000
errZeroPoint1=0.057116
errZeroPoint2=0.022143
errZeroPoint3=0.014973
errZeroPoint4=0.030403
OpticalDistortion=0.990000
SaveFits SB=1
SaveFits Cloud=0
SavePNG Image=1
SavePNG SB=1
SavePNG Cloud=1
bAutoStart=1
Delay between exposures=200
CCDType=1
FilterName1=Johnson_B
FilterName2=Johnson_V
FilterName3=Johnson_R
FilterName4=Johnson_U
FilterName5=Johnson_I
SERVO COM Port=8
Solar home position=170
Solar Open position=60
Time for heater on=900000
Time for heater off=50000
Filter B used=1
Filter V used=1
Filter R used=1
Filter U used=0
Filter I used=0
JPEG Quality=255
Enable shutter=0
Enable focuser=0
Electronic Drier=0

```

- Ficheros ‘producto’: imágenes y datos.

Hasta la fecha, se tiene un volumen de más de 1.5 TB guardados en el ordenador, y va aumentando cada día. Buena parte de esos 1.5 TB se deben a los ficheros de imagen y datos generados por el AstMon-UCM cada noche que ha funcionado.

La memoria física del ordenador es de 4 TB (4 discos de 1 TB cada uno) así que es probable que con el tiempo, deba hacerse una selección de archivos para no saturar el ordenador e impedir que el instrumento siga midiendo a diario.

Los ficheros de imagen y datos se reparten en varios de los 4 discos duros, siendo sus rutas y orden las siguientes:

Fecha inicio (día-mes-año)	Fecha fin (día-mes-año)	Ruta (disco y carpetas)
<b>14-7-2010</b>	31-12-2010	F:\
<b>1-1-2011</b>	31-7-2011	E:\
<b>1-8-2011</b>	actualidad	C:\Astmon\Data

Tabla A1. Rutas de localización de archivos históricos a fecha de septiembre de 2011.

A los archivos más recientes (disco duro C:\) puede accederse desde un acceso directo situado en el Escritorio y que se llama “*AstMon Imagenes y Datos*”.

Dentro de cada una de estas rutas existen una serie de carpetas denominadas con la fecha de adquisición de los datos, siguiendo un formato: año-mes-día → AAAAMMDD, como por ejemplo: 20101028, que correspondería al 28 de octubre de 2010.

A su vez, cada carpeta contiene 3 o 4 subcarpetas (dependiendo de si se guardan mapas de nubes o no) en que se guardan los ficheros de datos e imagen recogidos y generados por el AstMon-UCM. Un ejemplo para ayudar a entender la situación de cada fichero está presentado en la sección 3.2.1.:

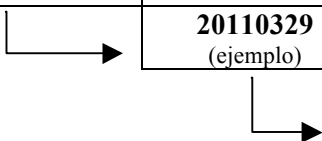
Carpeta Raíz	Subcarpetas (1 <sup>er</sup> nivel) (fechas)	Subcarpetas (2 <sup>o</sup> nivel) (según datos)	Ficheros (tipo y extensión)
<i>Astmon Imagenes y Datos</i>	 20110329 (ejemplo)		
		RawFiles →	imágenes: .png
		Extinction →	archivos de texto: .dat
		SkyBrightness →	imágenes: .fits y .png

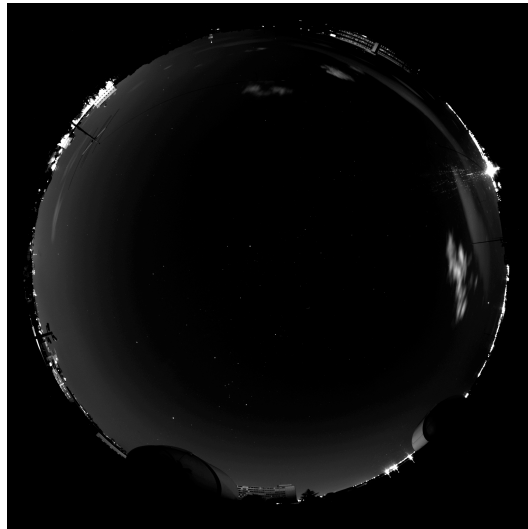
Gráfico A2. Estructura de archivado de datos del programa de control de AstMon-UCM.

Las subcarpetas son las correspondientes al 2º nivel, y en cada una se guarda un tipo de ficheros diferentes. Se resumen bajo estas líneas y se acompañan de una imagen ejemplo.

**RawFiles** – contiene todas las imágenes tomadas durante la noche, en los tres filtros, sin procesar y en formato JPG o PNG (este último formato se adoptó recientemente para reducir el peso de estas imágenes).

Por ejemplo: *Johnson\_B20110901\_000109.png* corresponde a la imagen sin procesar en el filtro B fechada a las 00:01:19 (UT) del día 1 de septiembre de 2011.

Ejemplo de imagen:



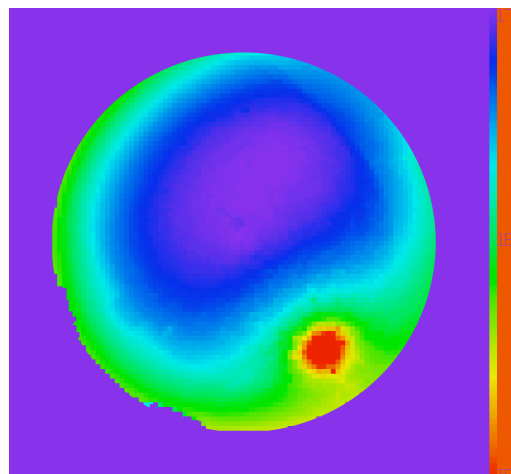
**Extinction** – contiene todos los ficheros de texto plano con todos los datos de extinción para cada filtro tomados durante la noche correspondiente. El formato del archivo es sencillo, sigue la misma dinámica que las carpetas contenedoras solo que añadiendo el filtro y la hora.

Por ejemplo: *ExtJohnson\_B20110901-021500.dat* es el fichero de extinción en el filtro B, fechado a las 02:15:00 (UT) del día 1 de septiembre de 2011.

**SkyBrightness** – contiene todas las imágenes procesadas de brillo de fondo de cielo, tanto en formato de análisis científico, FITS (Flexible Image Transport System), como en formato gráfico JPG o PNG.

Por ejemplo: *SBJohnson\_B20110901-031831.png* corresponde a la imagen procesada en el filtro B fechada a las 00:01:19 (UT) del día 1 de septiembre de 2011. El mismo nombre pero con la extensión .fit corresponde a la misma imagen pero de uso científico.

Ejemplo de imagen:



## **Apéndice B.**

### **Scripts.**

Se han realizado varios scripts a lo largo del tiempo de trabajo con el AstMon-UCM que han facilitado el manejo de la gran cantidad de datos generados.

Por un lado, se realizaron scripts de acumulación de datos de brillo de fondo de cielo y extinción dispersos en los diferentes ficheros y carpetas, para facilitar su transporte y manejo.

Por otro lado, los scripts generados para el tratamiento científico de esos datos (creación de gráficas y estadísticas) han sido realizados en colaboración con Sara Bertrán de Lis Mas.

Estos scripts se encuentran en el ordenador del AstMon-UCM y para cualquier consulta respecto a los mismos sólo habría que ponerse en contacto con el autor del presente informe:

Pablo Ramírez – paramoreta (at) gmail . com





## Apéndice C

### Resolución rápida de errores, preguntas frecuentes.

Cualquier aparato sujeto a la utilización para fines científicos puede ser sometido a exigentes periodos de funcionamiento y modificaciones que lo lleven a sus límites.

En el caso del AstMon-UCM, un instrumento astronómico de reciente fabricación y adquisición, su uso no ha sido diferente y la exigencia y modificaciones a las que ha sido sometido han generado una serie de errores o problemas con sus consiguientes soluciones. De todo ello se ha aprendido lo suficiente como para ahondar en el conocimiento del instrumento y su funcionamiento.

Mientras que las experiencias tenidas en momentos de malfuncionamiento son de diferentes clases, las soluciones casi siempre han recaído en unos escasas medidas de restauración del instrumento.

Se presenta a continuación una breve guía de errores comunes y su solución, así como algunas preguntas frecuentes que pueden surgir durante la manipulación del AstMon-UCM.

- **Problema:** fallo del programa de control o corrupción del fichero *Parameters.dat*.

**Solución:** aunque el AstMon-UCM puede trabajar de forma autónoma, se recomienda revisarlo al menos una vez cada 2 o 3 días para asegurarse de que sigue funcionando de forma normal. El programa de control a veces falla (puede ocurrir por diferentes causas, no previsibles en su mayoría) y necesita ser reiniciado a mano. Es recomendable que mientras el programa de control esté funcionando correctamente, no se manipule nada de la pantalla principal del programa excepto los botones de activación y parada de la secuencia principal y el Setup. Intentar manipular algunas de las funciones mientras el aparato se encuentra en modo de descanso, puede provocar el fallo del programa y la necesidad de reiniciarlo.

Puede ocurrir que en un malfuncionamiento del programa no se pueda volver a abrir de forma normal y dé algún fallo. En este caso, es recomendable comprobar que no se ha producido la corrupción del fichero *Parameters.dat*. En tal caso, se debe restaurar tal fichero por una muy recomendable copia de seguridad del mismo hecha previamente. Si la copia de seguridad no consigue restaurar el funcionamiento del programa de control, puede optarse por la restitución del fichero ejecutable del programa de control, del que también debe guardarse una copia de seguridad de su versión más reciente. Actualmente se tienen copias de estos ficheros en la carpeta “*AstMon Parametros*” del Escritorio.

- **Problema:** una o varias carpetas de una fecha concreta están vacías.

**Solución:** se recomienda revisar por un lado que la secuencia de toma de imágenes está activada (botón *Start* activado, en la pantalla principal del programa de control) y por otro, dentro del Setup, que no se hayan desactivado involuntariamente las opciones de guardado de imágenes en *Save Options*, ya sea manipulando el fichero *Parameters.dat* o el propio programa. Debe comprobarse también que el disco duro

donde se guardan los datos no está lleno, aunque este extremo no es especialmente común.

- **Problema:** actualizaciones del sistema operativo.

**Solución:** las actualizaciones con frecuencia requieren el reinicio del ordenador al completo. No representa ningún problema hacerlo, pero el ordenador cuenta con una sesión de usuario llamada AstMon, en la que se debe introducir una contraseña para conseguir llegar al Escritorio. Tras introducirla, deben quedar ejecutados una serie de programas, como son: el propio programa de control del AstMon-UCM (se activa automáticamente), el FileZilla (cliente ftp) y el VNC (cliente de conexión remota, se activa incluso antes de introducir la contraseña en el inicio de sesión).

- **Problema:** no se reconocen los puertos de conexión con el AstMon-UCM.

**Solución:** revisar los drivers del HUB AnywhereUSB/2 que conecta el AstMon-UCM con el ordenador de la sala Entre Cúpulas; comprobar que los cables que entran en el ordenador están bien conectados; revisar si el fichero Parameters.dat no se ha corrompido. En este último caso, restaurar el fichero con una copia de seguridad.

- **Problema:** no detecta o da un fallo debido al obturador solar.

**Solución:** debe recordarse que actualmente, el AstMon-UCM carece de tal pieza, pues sufrió un malfuncionamiento que obligó a su retirada. La versión actual del programa de control ofrece la posibilidad de activar o desactivar el uso del obturador solar, así que si se lanza un error en este sentido, debe revisarse que no se haya activado por error la opción de uso de esta pieza. En tal caso, el puerto asignado será irrelevante.

- **Problema:** hay suciedad o marcas en la cúpula.

**Solución:** se recomienda la limpieza del exterior de la cúpula de metacrilato de forma frecuente, para evitar marcas en las imágenes. Sin embargo, se debe tener cuidado en la limpieza, que se debe llevar a cabo con abundante agua y un trapo suave, para evitar rayar la superficie.

- **Problema:** hay agua dentro de la estructura principal del AstMon-UCM.

**Solución:** en principio, el AstMon-UCM es estanco, a excepción de su cara inferior en que existe una abertura que contiene un desecante, pero puede ocurrir que por filtraciones no detectadas, entre agua en el interior o surja algo de humedad debido a cambios bruscos de temperatura. Tales situaciones se han vigilado durante todo el tiempo dedicado al trabajo con el AstMon-UCM y sólo en una ocasión se ha encontrado agua en el interior del cuerpo principal. Lo recomendable es verificar el estado de los materiales desecantes una vez por semana o cada diez días, y si se encuentran pequeñas filtraciones, buscar el origen para su sellado si es posible; si no lo es, se pueden dejar pequeños trozos de algún material absorbente alejados de las cajas de componentes electrónicos para evitar que se mojen y puedan dar lugar a la destrucción de algún componente interno del instrumento.

## Apéndice D

### Proposición de proyectos de interés para el futuro.

Algo que ha quedado claro tras utilizar el AstMon-UCM es que sus posibilidades sólo en el ámbito de aplicación astrofísica y el campo académico son realmente numerosas.

A continuación se presentan una serie de ideas de diferentes grados de dificultad y dedicación temporal, con los que se pretende inspirar o motivar futuros proyectos con este instrumento. Deben ser considerados como meras sugerencias pero están propuestos con el conocimiento suficiente como para que puedan ser llevados a cabo por estudiantes de astrofísica e incluso alguna otra rama.

- ◇ **Propuesta:** modificación del software para almacenamiento de datos noche a noche en vez de fecha a fecha.

**Descripción:** actualmente, el sistema de almacenaje de datos se lleva a cabo en carpetas con fecha natural, por lo que contienen datos de la noche de un día desde las 00:00 hasta las 6:00 horas, dejando paso a las horas de luz sin toma de imágenes, y de nuevo contienen datos desde el crepúsculo hasta las 23:59, que son considerados datos de la noche siguiente. Reordenar los datos de la noche de un día con el cambio de fecha puede ayudar a aligerar el tratamiento de los mismos.

- ◇ **Propuesta:** ampliación de la página web de Cielos de Madrid.

**Descripción:** la web dedicada a los cielos de Madrid y a la divulgación del AstMon-UCM y sus utilidades tiene un gran potencial divulgativo y científico. Se pueden considerar numerosas posibilidades de trabajo como, por ejemplo, la elaboración de un archivo histórico mediante la selección de ciertas imágenes por noche y sus valores de SB, o establecerla como una base de datos de SB y coeficientes de extinción consultable por la comunidad científica (mediante archivos de texto plano ligeros, de entre 1 y 3 KB por archivo, apenas varios cientos de KB cada noche), o la ampliación de la misma en conjunto con el resto de instrumentos hermanos situados en el Parque Nacional de Doñana, Calar Alto... tal que se considere la creación de una red de divulgación y fines científicos centrada en este tipo de instrumentos, etc..

Las posibilidades son numerosas y con seguridad se encontrarán aún más propuestas de interés en el futuro.

- ◇ **Propuesta:** estudio sobre los efectos de puntos de especial contaminación lumínica (ejemplo: Torre Picasso).

**Descripción:** puede estudiarse cómo afectan ciertos elementos de contaminación lumínica concretos a la evolución del mapa de brillo de fondo de cielo en una

misma noche, como es la iluminación vertical que se aplica a la Torre Picasso durante varias horas a diario.

- ◇ **Propuesta:** evolución estacional de SB y extinción atmosférica.

**Descripción:** a largo plazo, teniendo una muestra suficientemente representativa, pueden estudiarse los posibles efectos de las estaciones sobre el brillo de fondo de cielo y la extinción atmosférica.

- ◇ **Propuesta:** cambio de SB con las fases lunares.

**Descripción:** se ha visto que la Luna afecta notablemente a buena parte de la bóveda cuando se mide el brillo de fondo de cielo. Podría ser interesante estudiar en mayor detalle y discutir cómo afecta la Luna dependiendo de la fase en que se encuentre y su altura a los valores de SB cenitales, y si es recomendable, posible o científicamente válida la medición de parámetros de SB con la presencia de Luna sobre el horizonte.

- ◇ **Propuesta:** análisis de precisión y posible optimización de los parámetros instrumentales del AstMon-UCM y mejora del criterio de noches fotométricas.

**Descripción:** se ha comprobado que ciertos parámetros como las constantes instrumentales del AstMon han sido prefijadas de antemano. La fotometría realizada para la comprobación de la certeza de las mismas parece sugerir que se mueven en un intervalo correcto pero el propio instrumento no ha conseguido mejorarlas por sí mismo a lo largo del año de trabajo. Puede ser recomendable crear un proyecto paralelo que se dedique a la medición fotométrica en noches despejadas que ayuden a corroborar los parámetros establecidos actualmente, y en consecuencia, reforzar la definición de noche fotométrica en el Observatorio UCM.

- ◇ **Propuesta:** estudio a largo plazo de la tendencia de los coeficientes de extinción típicos propuestos para el Observatorio UCM mediante la comparación con datos de varias estrellas a largo plazo.

**Descripción:** los intervalos asumidos como típicos para los coeficientes de rozamiento han quedado propuestos en la sección 4.2.2., y se han basado en el estudio estadístico de casi un año. Puede contrastarse la solidez de esta deducción e incluso afinarla mediante el estudio a largo plazo de otras estrellas y su tendencia en cada filtro, o estudiando si los criterios de eliminación de puntos de alto coeficiente de extinción pueden ser endurecidos para así tener un rango de valores típicos más ajustado.

- ◇ **Propuesta:** realización de una práctica para la asignatura de Técnicas Experimentales en Astrofísica.

**Descripción:** ya sea utilizando medidas de la noche anterior o de noches pasadas, puede plantearse el diseño de una práctica que proponga la realización del proceso de cálculo que realiza un monitor de brillo y extinción como el AstMon-UCM y la posterior comparación, razonamiento y análisis de los resultados.

◇ **Propuesta:** optimización de componentes.

**Descripción:** se ha propuesto utilizar el AstMon para el proyecto CTA en que GAE-UCM participa, pero ciertas dificultades técnicas parecen ser un problema complicado de resolver. Puede plantearse el estudio del cambio u optimización de ciertas piezas que puedan ofrecer mejor rendimiento para determinados proyectos en que se pretenda utilizar AstMon, en coordinación con iTec Astronómica, empresa diseñadora, ya que cuenta con la patente y conocimientos más extensos del aparato.

◇ **Propuesta:** continuación del contraste de datos con los SQM.

**Descripción:** la muestra de datos manejada hasta la fecha es bastante limitada, así que puede ser interesante ampliarla para tener más información sobre los errores de medición de los instrumentos así como una posible mejora de su calibración.

◇ **Propuesta:** estudio del cielo con el AstMon-UCM en diferentes filtros.

**Descripción:** la rueda de filtros del AstMon-UCM tiene 5 posiciones por lo que se puede plantear el uso y contraste de numerosas combinaciones. El filtro U tiene por delante una opción de ser estudiado para el proyecto CTA en que participa GAE-UCM, pero no es el único del que puede salir algún proyecto de interés astrofísico (doblete de sodio, de magnesio).

Todos estos proyectos quedan propuestos a modo de idea o inspiración, pero no son sin duda los únicos posibles. Según se vayan estudiando algunos de ellos en el futuro, es muy probable que a su vez den lugar a nuevas ideas y se encuentren inesperadas utilidades del AstMon-UCM en otros proyectos.



## **Agradecimientos y referencias.**





## Agradecimientos.

A mis tutores: Jaime Zamorano Calvo (Dpto. de Astrofísica y CC. de la Atmósfera, Fac. Físicas, UCM) y José Luis Contreras González (Dpto. Física Atómica, Nuclear y de Partículas, Fac. Físicas, UCM) por su generosidad, apoyo, exigencia y motivación continuas; a Emilio Salazar Doñate por su enorme ayuda con todo lo referido a la web de Cielos de Madrid y los ratos en el despacho; a Jesús Aceituno Castro (Astrónomo de Soporte y director de iTec Astronómica S.L.) por su constante ayuda en la distancia, a Sara Bertrán de Lis Mas por su inestimable ayuda con el procesado de datos; a Francisco Ocaña González por su estatus de colaborador y tan diferentes ayudas a lo largo de estos meses; a Néstor Mirabal y José Luis Lemus (miembros de GAE-UCM) por su disponibilidad y apoyo; y a Alejandro Sánchez de Miguel y Sergio Pascual Ramírez por su soporte en algunas cuestiones técnicas.

## Referencias.

### Referencias escritas y bibliografía.

1. J. Aceituno Castro. “*All Sky Transmission Monitor – AstMon. Manual de Instrucciones. Versión 2.*”. 2011. iTec Astronómica S.L.
2. J. Aceituno, S. F. Sánchez, F. J. Aceituno, D. Galadí-Enríquez, J. J. Negro, R. C. Soriguer, G. Sánchez Gómez. “*An All Sky Transmission Monitor*”. arXiv:1107.1682v1. 2011.
3. O. Rabaza Castillo, D. Galadí-Enríquez, A. Espin Estrella, F. Aznar Dols: “*All-sky brightness monitoring of light pollution with astronomical methods*”. Journal of environmental management. Vol: 91. pp. 1278-1287, 2010.
4. J. Zamorano, A. Sánchez de Miguel, D. Martínez Delgado, E. Alfaro. “*Proyecto NIXNOX. Disfrutando de los cielos despejados de España*”. 36-42 Astronomía 142. 2011.
5. J. Zamorano, A. Sánchez de Miguel, S. Pascual, J. Gómez Castaño, P. Ramírez y P. Challupner. “*ISS nocturnal images as a scientific tool against Light Pollution*”. LICA report, April 2011. Version 1.8 - 2011/05/04
6. A. Sánchez de Miguel, J. Zamorano Calvo, B. Pila Díez, J. Rubio Jiménez, R. Ruiz Carmona, I. Rodríguez Herranz y A. González Pérez. [Contaminación lumínica en España 2010](#). Highlights of Spanish Astrophysics VI, Proceedings of the IX Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society (SEA).
7. B. Pila Díez. “[Mapa de brillo de fondo de cielo de la Comunidad de Madrid](#)”. Trabajo Académicamente Dirigido. 2009-2010. UCM e-Prints.
8. R. Ruiz Carmona. “*Contaminación Lumínica en la UCM - II. Mapa de la iluminación en la UCM*”. Trabajo Académicamente Dirigido. 2009-2010. UCM e-Prints.

## Referencias y sitios de interés en la red.

1. Cielos de Madrid  
<http://www.cielosdemadrid.com/>
2. Fotometría y extinción atmosférica  
[http://www.britastro.org/vss/ccd\\_photometry.htm](http://www.britastro.org/vss/ccd_photometry.htm)
3. Información sobre el Objetivo Sigma  
<http://www.sigmaphoto.com/shop/45mm-f28-ex-dc-hsm-circular-fisheye-sigma>
4. CCD Kodak KAF8300  
[http://www.kodak.com/ek/US/en/KODAK\\_Image\\_Sensor\\_Solutions\\_-\\_KAF-8300.htm](http://www.kodak.com/ek/US/en/KODAK_Image_Sensor_Solutions_-_KAF-8300.htm)
5. Filtros Astrodon Photometrics UVBRcIc  
<http://www.astrodon.com/>
6. Unihedron, SQM  
<http://unihedron.com/>
7. Catálogos del Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS)  
<http://cds.u-strasbg.fr/>
8. Catálogo Henry Draper  
<http://server1.sky-map.org/>
9. Proyecto CTA:  
<http://www.cta-observatory.org/>
10. El Cielo de Jaén - J. Martí Ribas, J. Martínez Aroza, P. L. Luque Escamilla - Universidad de Jaén  
<http://aljayani.ujaen.es/index.php>
11. The Liverpool Telescope SkyCam - Live Images  
<http://lt-archive.astro.livjm.ac.uk/data/archive/webfiles/Skycam/>
12. VLT Instrumentation MASCOT - Mini AllSky Cloud Observation Tool - ESO  
<http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/mascot/index.html>
13. La Silla - AllSky Camera - ESO  
<http://www.ls.eso.org/lasilla/dimm/lasc/>
14. Cerro Tololo AllSky Images  
<http://www.ctio.noao.edu/~david/tasca.htm>
15. Las Campanas AllSky Camera  
<http://ascam2.lco.cl/>

16. MMT SkyCam – The Smithsonian Institute & the University of Arizona  
<http://skycam.mmt.arizona.edu/>
17. Fred Bruenjes Astronomy - Moonglow Observatory (Warrensburg, Missouri) - AllSky Camera  
[http://www.moonglow.net/skycam\\_movie.shtml](http://www.moonglow.net/skycam_movie.shtml)
18. Special Astrophysical Observatory (SAO) - Russian Academy of Sciences Institution - AllSky TV Camera  
[http://www.sao.ru/zserv/webcam/archive/show\\_allsky.php?icons](http://www.sao.ru/zserv/webcam/archive/show_allsky.php?icons)
19. Paul Beskeen Astrophotography - Bourn, Cambridgeshire, UK - AllSky Camera  
<http://www.beskeen.com/allskycam.shtml>
20. Hawley (texas) - AllSky Camera, Radar and Satellite Images  
<http://www.bigcountrywx.net/>
21. Pedro Ré AllSky Camera Devices  
[http://www.astrosurf.com/re/all\\_sky\\_camera.html](http://www.astrosurf.com/re/all_sky_camera.html)
22. IRF Swedish Institute of Space Physics - Kiruna AllSky Camera  
<http://www.irf.se/allsky/rtasc.php>
23. Sodankylä Geophysical Observatory - University of Oulu - AllSky Camera  
<http://www.sgo.fi/Data/RealTime/allsky.php>
24. Bayfordbury AllSky Camera  
<http://star.herts.ac.uk/allsky/>
25. Institute of Astronomy - University of Cambridge - AllSky Camera  
<http://tel05.ast.cam.ac.uk/>
26. Crni Vrh Observatory AllSky Camera  
<http://www.observatorij.org/Allsky.html>
27. Kjell Henriksen Observatory (KHO) - Seasonal Auroral Observation with AllSky Cameras  
<http://kho.unis.no/>
28. Sondrestrom Research Facility  
<http://isr.sri.com/instruments/allsky/index.html>



## **Disco de datos.**

Se incluye a continuación un CD que contiene datos, gráficas y otra información utilizada para la realización del presente trabajo.

